## Estudios Ecológicos en Bahía Magdalena



René Funes Rodríguez Jaime Gómez Gutiérrez Ricardo Palomares García Editores







## Estudios Ecológicos en Bahía Magdalena

Estudios Ecológicos de Bahía Magdalena es un libro que surgió con la idea de sintetizar e integrar, en un solo volumen, gran parte de los estudios sobre biología, ecología, oceanografía y ciencias sociales del complejo lagunar Bahía Magdalena-Almejas situado en la costa sur occidental de la península de Baja California, México. La obra comprende 20 capítulos, agrupados en cinco secciones con temas comunes: Oceanografía Física, Bentos, Plancton, Necton y Aspectos Sociales e Históricos. Los capítulos incluyen investigaciones originales y artículos de revisión del estado actual del conocimiento que se tiene sobre los procesos y/ó recursos naturales de la región, presentando nuevos enfoques y conceptos que pudieran definir futuras líneas de investigación, posibles áreas de protección y recomendaciones para el uso sustentable de los recursos naturales de uno de los ecosistemas lagunares de mayor biodiversidad y atractivo eco-turístico y pesquero del litoral del Pacífico Mexicano.



## ESTUDIOS ECOLÓGICOS EN BAHÍA MAGDALENA

### DIRECTORIO

DR. JOSÉ ENRIQUE VILLA RIVERA Director General

> DR. EFRÉN PARADA ARIAS Secretario General

> DR. JOSÉ MADRID FLORES Secretario Académico

ING. MANUEL QUINTERO QUINTERO Secretario de Extensión e Integración Social

DR. LUIS HUMBERTO FABILA CASTILLO Secretario de Investigación y Posgrado

DR. VÍCTOR MANUEL LÓPEZ LÓPEZ Secretario de Servicios Educativos

DR. MARIO ALBERTO RODRÍGUEZ CASAS Secretario de Administración

LIC. LUIS ANTONIO RÍOS CÁRDENAS Secretario Técnico

ING. LUIS EDUARDO ZEDILLO PONCE DE LEÓN Secretario Ejecutivo de la Comisión de Operación y Fomento de Actividades Académicas

> ING. JESÚS ORTIZ GUJTIÉRREZ Secretario Ejecutivo del Patronato de Obras e Instalaciones

ING. JULIO DI-BELLA ROLDÁN Director de XE-IPN TV Canal 11

LIC. ALBERTO CORTÉS ORTIZ Abogado General

LIC. ARTURO SALCIDO BELTRÁN Director de Publicaciones

## ESTUDIOS ECOLÓGICOS EN BAHÍA MAGDALENA

RENÉ FUNES RODRÍGUEZ JAIME GÓMEZ GUTIÉRREZ RICARDO PALOMARES GARCÍA

Editores

CENTRO DE INVESTIGACIONES BIOLÓGICAS DEL NOROESTE, S.C. INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL CENTRO INTERDISCIPLINARIO DE CIENCIAS MARINAS







Diseño gráfico y cuidado de la edición: Edgar Yuen Sánchez.

Editores de estilo: René Funes Rodríguez, Jaime Gómez Gutiérrez, Ricardo Palomares García.

Diseño de portada: Jorge del Ángel Rodríguez (imagen de satélite) y Jaime Gómez Gutiérrez (diseño gráfico).

Imágen de satélite del complejo lagunar Bahía Magdalena-Almejas: World wind y proveedores de datos: i-Cube Landsat 7 (Global and Cover Facility, University of Maryland e Institute of Advanced Computer Studies); y Blue Marble Next Generation (Reto Stockli NASA Earth Observatory y NASA Goddard Space Flight Center).

QH 541. 5 C65 2007

Estudios Ecológicos en Bahía Magdalena Editado por R. Funes Rodríguez, Jaime Gómez Gutiérrez, Ricardo Palomares García. Primera Edición 2007

D. R. © 2007 Instituto Politécnico Nacional Luis Enrique Erro s/n Unidad Profesional "Adolfo López Mateos" Col. Zacatenco, 07738, México D.F.

Dirección de Publicaciones Tres Guerras 27, Col. Centro Histórico 06040, México D.F. http://www.publicaciones.ipn.mx

ISBN 978-970-36-0511-8

Impreso en México / Printed in Mexico

Ninguna parte de esta obra puede ser reproducida o trasmitida, mediante ningún sistema o método electrónico o mecánico sin autorización por escrito de los editores.

### CONTENIDO

Prefacio		ix
Prólogo		xi
Agradecimier	ntos	xv
Instituciones	participantes	xvii
Árbitros		xviii
Área de estud	io: Complejo lagunar de Bahía Magdalena-Almejas	xxi
Sección I. Oc	ceanografía Física	
Capítulo 1	Condiciones hidrofísicas en el sistema lagunar Bahía Magdalena-Almejas Orzo Sánchez-Montante, Oleg Zaitsev, Manuel Saldivar-Reyes	1
Capítulo 2	<b>Características del ambiente hidrofísico de la plataforma continental y zona oceánica adyacente al sistema lagunar Bahía Magdalena-Almejas</b> Oleg Zaitsev, Orzo Sánchez-Montante, Carlos J. Robinson	
Capítulo 3	Efecto de la dinámica de las corrientes de marea en los organismos pelágicos en la boca de Bahía Magdalena Carlos J. Robinson, Jaime Gómez-Gutiérrez, Samuel Gómez-Aguirre	45
Sección II. B	entos	
Capítulo 4	<b>Composición química de los sedimentos y macroalgas del complejo lagunar Magdalena-Almejas</b> Durga Rodríguez-Meza, Evgueni Choumiline, Lia Méndez-Rodríguez, Baudilio Acosta-Vargas, Dmitri Sapozhnikov	61
Capítulo 5	Concentración de metales pesados en almeja roñosa <i>Chione</i> <i>californiensis</i> (Broderip) en la porción norte de Bahía Magdalena Lia Méndez-Rodríguez, Susan C. Gardner, Baudilio Acosta-Vargas, Nadia López-Esquerr, Sergio Ticul Álvarez-Castañeda	
Capítulo 6	Comunidades de anélidos poliquetos de Bahía Magdalena Victoria Díaz-Castañeda, Jesús A. de León-González	
Capítulo 7	Ecología de la fanerógama Zostera marina en el sistema lagunar Bahía Magdalena-Bahía Almejas Noé Abraham Santamaría-Gallegos, Esteban Fernando Félix-Pico, José Luis Sánchez- Lizaso, Rafael Riosmena-Rodríguez	101

Capítulo 8	8 Flora marina del sistema lagunar de Bahía Magdalena-Bahía Almejas Gustavo Hernández-Carmona, Elisa Serviere-Zaragoza, Rafael Riosmena-Rodríguez, Ignacio Sánchez-Rodríguez				
Capítulo 9	Variación en la cobertura, distribución y estructura de los manglares del complejo lagunar Bahía Magdalena-Bahía Almejas (1990-2005) Joanna Acosta-Velázquez, Arturo Ruíz-Luna				
Sección III. F	Plancton				
Capítulo 10	<b>Dinoflagelados (Dinophyceae) del sistema lagunar Magdalena-Almejas</b> Ismael Gárate-Lizárraga, Christine Johanna Band-Schmidt, Gerardo Verdugo-Díaz, María del Socorro Muñetón-Gómez, Esteban Fernando Félix-Pico				
Capítulo 11	Variación estacional de la producción de huevos de copépodos en Bahía Magdalena Ricardo Palomares-García, Roxana De Silva-Dávila				
Capítulo 12	<b>Transporte de agregaciones de zooplancton a través de la boca de Bahía Magdalena asociado a corrientes y frentes de marea</b> Samuel Martínez-Gómez, Jaime Gómez-Gutiérrez, Carlos J. Robinson				
Capítulo 13	<b>Composición, distribución y abundancia de larvas de peces en Bahía Magdalena</b> René Funes-Rodríguez, Julián D. Leal-Espinoza, Alejandro Hinojosa-Medina, Martín E. Hernández-Rivas, Cesar Flores-Coto				
Sección IV. N	écton				
Capítulo 14	Parámetros poblacionales de la sardina del Pacífico Sardinops sagax y su contribución a la pesquería de Bahía Magdalena: enfoque de stocks Roberto Félix-Uraga, Felipe N. Melo-Barrera, Casimiro Quiñonez-Velázquez	223			
Capítulo 15	<b>Bahía Magdalena: zona de crianza de la macarela</b> <i>Scomber japonicus</i> María Georgina Gluyas-Millán	235			
Capítulo 16	Peces demersales de Bahía Magdalena Francisco Javier Gutiérrez-Sánchez, Felipe Galván-Magaña, Leonardo Andrés Abitia-Cárdenas, Jesús Rodríguez-Romero	241			
Capítulo 17	Variabilidad interanual (1983-87) y (1996-97) de la ballena gris ( <i>Eschrichtius robustus</i> ) en la zona norte de Bahía Magdalena Luis A. Fleischer, Esperanza Michel-Guerrero, Alejandro Zárate-Villafranco, Alejandro Álvarez-Andrade	251			
Capítulo 18	Repertorio acústico de la ballena gris ( <i>Eschrichtius robustus</i> ) en Bahía Magdalena	263			

### Sección V. Aspectos Sociales e Históricos

Capítulo 19	La pesquería de camarón en Puerto San Carlos, Bahía Magdalena: una perspectiva socioeconómica Salvador García-Martínez, Ernesto A. Chávez-Ortiz		
Capítulo 20	Evolución de la investigación científica en el complejo lagunar		
	Bahía Magdalena-Almejas	289	
	Alejandro Hinojosa-Medina, René Funes-Rodríguez,		
	Gerardo Aceves-Medina, Jaime Gómez-Gutiérrez		

### Prefacio

El complejo lagunar de Bahía Magdalena-Almejas es uno de los ecosistemas lagunares con mayor biodiversidad y atractivo ecoturístico y pesquero en el Estado de Baja California Sur, México. Esto ha propiciado el interés de exploradores extranjeros en los inicios del siglo pasado y en épocas más recientes, de científicos nacionales e internacionales. De acuerdo con su creciente influencia económica-pesquera y el incremento en el número de investigaciones durante las últimas tres décadas, surgió la idea de sintetizar e integrar gran parte de los estudios sobre biología, ecología, oceanografía y ciencias sociales de este complejo lagunar. Esta iniciativa fue motivada por la necesidad de entender la dinámica del ecosistema y el deseo de cumplir con los diferentes sectores de la sociedad, cuyos reclamos recurrentes, son el aislamiento de las instituciones de investigación y la escasa disponibilidad de los productos de la investigación a la sociedad. Es así como surge el libro de "**Estudios Ecológicos en Bahía Magdalena**", conformado por 20 capítulos que incluyen artículos de investigación original y de revisión del estado actual del conocimiento del complejo lagunar Bahía Magdalena-Almejas, en el marco de la celebración de los 30 años de existencia del Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas del Instituto Politécnico Nacional (CICIMAR-IPN) en La Paz, Baja California Sur (1976-2006).

En esta obra se documenta la interacción de los diferentes procesos oceanográficos que ocurren en el área nerítica adyacente a la bahía y en su interior, y cómo ésta dinámica oceanográfica influencia la biodiversidad y las variaciones de la abundancia espacio-temporal de los organismos que en ella habitan. A su vez, en los diferentes capítulos se muestra el estado actual de los recursos naturales realizando una evaluación crítica de la literatura previamente publicada con la finalidad de presentar una síntesis que pudiera ser útil a estudiantes, científicos, administradores, conservacionistas y público en general, con especial énfasis en proveer de información científica accesible a quienes tienen la responsabilidad de tomar las decisiones sobre el uso y aprovechamiento sustentable de los recursos naturales del complejo lagunar Bahía Magdalena-Almejas. Asimismo, los capítulos presentan enfoques y conceptos que pudieran definir futuras líneas de investigación, posibles áreas de protección o recomendaciones para el uso sustentable de los recursos naturales de esta región. Como toda obra humana, el presente libro no incluye todos los temas de investigación realizada en el sistema lagunar, pero enfatiza sobre aquellos que son relevantes y de mayor alcance hasta el momento. Sin embargo, este es un primer esfuerzo de convocatoria para integrar las investigaciones desarrolladas en el complejo lagunar de Bahía Magdalena-Almejas, misma que fue atendida por 54 reconocidos investigadores pertenecientes a 13 instituciones de México y tres instituciones extranjeras (España, Rusia y Estados Unidos de Norteamérica).

### Prólogo

La presente obra fue concebida inicialmente como una integración de la investigación científica desarrollada en el complejo lagunar Bahía Magdalena-Almejas por el CICIMAR-IPN, a lo largo de sus 30 años de existencia (1976-2006). No obstante, esta idea fue creciendo y se realizó una amplia convocatoria multi-institucional, con el objeto de integrar el conocimiento interdisciplinario en oceanografía física, química y biología con énfasis en las especies clave del complejo lagunar de Bahía Magdalena-Almejas. Gracias a la entusiasta y numerosa respuesta de los investigadores a la convocatoria, se pudieron integrar 20 capítulos que brindan diferentes visiones y metodologías de estudio oceanográfico y ecológico para profundizar en el conocimiento de los diferentes procesos que ocurren en la región. La obra comprende cinco secciones que agrupan capítulos con temas similares de investigación: Oceanografía Física (Sección I), Bentos (Sección II), Plancton (Sección III), Nécton (IV) y Aspectos Sociales e Históricos (Sección V).

La sección de Oceanografía Física (Sección I) incluye tres capítulos que comprenden la revisión y discusión de la hidrodinámica regional de una manera altamente complementaria entre sí. El capítulo 1 esta enfocado a la parte oceánica y plataforma continental del complejo lagunar, el capítulo 2 describe la hidrografía de la parte interna de Bahía Magdalena y el capítulo 3 aborda algunos procesos de la interacción entre ambos ecosistemas que ocurren a través de la boca principal de Bahía Magdalena. A su vez, estos tres capítulos describen los procesos oceanográficos más importantes que influyen y modulan las condiciones ambientales, el transporte de plancton y nécton y patrones de circulación de corrientes entre la porción marina adyacente y la parte interna del complejo lagunar, mediante una combinación del uso de técnología e instrumentación oceanográfica tradicional y moderna (de alta resolución) así como técnicas de modelación numérica, sin precedentes en la región, estos capítulos proveen al lector de una síntesis a diferentes escalas de tiempo y espacio desde los procesos oceánicos de la porción sureña de la Corriente de California a eventos de pequeña escala espacio-temporal como la formación de frentes de la cuenca profunda de Bahía Magdalena.

La sección de Bentos (Sección II) incluye seis capítulos enfocados a discutir aspectos del ecosistema bentónico. Los capítulos 4 y 5, describen la concentración de metales pesados en sedimentos, en macroalgas y en la almeja *Chione californiensis*. Los autores de estos capítulos han sentado el primer precedente de la concentración de metales pesados en la región donde, a pesar del constante incremento de asentamientos humanos a lo largo de línea costera del complejo lagunar, ellos concluyen que las concentraciones estimadas están dentro del intervalo considerado como natural. Asimismo el capítulo 6, es el primer estudio conocido sobre la composición y estructura de la comunidad de poliquetos (Anélida:Polychaeta) para el complejo lagunar. Los poliquetos son organismos de especial influencia en la compactación y composición del fondo marino por su función ecológica en la remoción de sedimentos y por representar una considerable fuente de alimento para depredadores bentónicos y demersales. Los capítulos 7 y 8 presentan aspectos ecológicos de las fanerógamas (pastos marinos) y macroalgas del complejo lagunar como parte integral del componente del bentos, incluyendo los listados taxonómicos más completos publicados hasta el momento de su diversidad específica. Es reconocido

que Bahía Magdalena esta cerca del límite norteño de la distribución de los sistemas de manglar de las costas del Océano Pacífico Oriental y en este contexto, el capítulo 9 muestra la primera evaluación de la cobertura geográfica de bosque de manglar, realizada por medio de técnicas de teledetección satelital. En este capítulo los autores concluyen que a la fecha, no existe evidencia de una reducción en la cobertura geográfica del bosque de manglar entre los periodos de 1990 y 2005. Lo anterior indudablemente es satisfactorio, debido a la creciente tendencia de deforestación de los bosques de manglar en México y gran parte del mundo. Es por ello que deben tomarse las previsiones necesarias para proteger y preservar este hábitat en su estado actual.

La sección de Plancton (Sección III) incluye cuatro capítulos enfocados al estudio de la abundancia espacio-temporal y estructura de las comunidades planctónicas de Bahía Magdalena. Los organismos del plancton son posiblemente el componente biológico más frecuentemente estudiado del complejo lagunar, pero a la vez, probablemente uno de los componentes bióticos menos comprendidos debido a su compleja dinámica espacio-temporal. El capítulo 10 es una revisión del estado actual de conocimiento de la biología, ecología y listado taxonómico de los dinoflagelados, destacando la presencia y riesgo ecológico de algunas especies responsables de florecimientos algales nocivos (FAN), que en ocasiones pueden llegar a provocar eventos de bioconcentración y/o mortalidad de organismos, generando problemas de salud en humanos y organismos marinos de la región. El capítulo 11, presenta la primera estimación anual de la producción secundaria de copépodos aportada por producción de huevos de la región. El grupo de los copépodos es reconocido por su elevada riqueza específica (214 especies), abundancia y biomasa (70-90% de la biomasa zooplanctónica total), constituyendo el principal enlace trófico entre los productores primarios y los depredadores zooplanctófagos en el ecosistema lagunar. Además, los copépodos realizan una importante función en la exportación, redistribución y almacenamiento de carbono y nutrientes en el ecosistema pelágico del complejo lagunar. Por lo anterior, este es un trabajo sin precedentes a nivel regional y nacional que muestra la productividad que aportan los copépodos en la dinámica trófica de Bahía Magdalena. El capítulo 12 es un estudio multidisciplinario de oceanografía de la columna de agua y el transporte de zooplancton a través de la boca de acceso a Bahía Magdalena, que provee de una aproximación novedosa para el estudio de la interacción del zooplancton en el ecosistema de la plataforma continental y la parte interna de la bahía. Este estudio fue realizado utilizando modernas ecosondas científicas, cámaras de video submarinas y sensores de variables ambientales de alta resolución espacio-temporal revolucionando el estudio del plancton en el complejo lagunar de Bahía Magdalena. Finalmente, el capítulo 13 hace referencia al estudio de la estructura de la comunidad y abundancia espacio-temporal de los primeros estadios de vida de los peces (ictioplancton) cuyo conocimiento es un indicador del éxito del reclutamiento y del tamaño potencial de las poblaciones. Este estudio se enfoca principalmente en los ciclos reproductivos de las especies explotadas comercialmente por la industria pesquera y ribereña, así como a los de otras especies que por su abundancia y frecuencia de aparición, tienen una relevante función ecológica en la trama trófica en el complejo lagunar.

La sección de Nécton (Sección IV) esta conformada por cinco capítulos que incluyen especies de la macrofauna con las que el público en general esta más frecuentemente familiarizado (peces y ballenas). El capítulo 14 contiene información de la dinámica poblacional de la sardina del Pacífico, *Sardinops sagax*, que comprende los mayores volúmenes de captura de peces pelágicos menores en el

Noroeste de México. Este capítulo incluye una comparación de las tasas de crecimiento de la sardina del Pacífico en Bahía Magdalena y los stocks ubicados a lo largo de la costa occidental de la península de Baja California. De esta especie, existe una vasta información sobre su pesquería, biología y ecología, pero los capítulos 13 y 14 hacen una evaluación de manera sintética y comprensible de su biología a lo largo de su ciclo ontogénico. El capítulo 15 analiza la estructura de edad y crecimiento de la macarela del Pacífico, *Scomber japonicus*, concluyendo que Bahía Magdalena es una importante área de crianza para esta especie. El capítulo 16 aborda un análisis de la composición específica y abundancia espaciotemporal de los peces demersales que posiblemente aportan la mayor proporción de especies y biomasa a las pesquerías ribereñas, en beneficio directo de la población que habita el complejo lagunar.

Los capítulos 17 y 18 comprenden el estudio de una de las especies más emblemáticas del Estado de Baja California Sur: la ballena gris Eschrichtius robustus. El capítulo 17 contiene información de la variabilidad espacio-temporal de la distribución y abundancia de ballena gris durante dos periodos (1983-1987 y 1996-1997) en la porción norte del complejo lagunar. En este estudio, los autores concluyen que aún cuando esta población posiblemente aún no ha alcanzado los niveles de abundancia previos al inicio de su cacería, los censos realizados en esos períodos proveen evidencia de que la ballena gris actualmente tiene una población estable en el Pacífico Mexicano durante su migración invernal. Aunque la caza de este cetáceo se encuentra en moratoria indefinida, la práctica de ecoturismo durante su temporada de reproducción, ha ocasionado un creciente tráfico de embarcaciones que posiblemente alteran el comportamiento y bienestar de estos animales. En este sentido, el capítulo 18 investiga cuál es el repertorio acústico de la ballena gris y discute el posible impacto de la creciente presión humana a través del ecoturismo, en la población de ballenas que llega a Bahía Magdalena, ocasionado por incremento del nivel de ruidos en el hábitat de estos cetáceos. Este estudio puede ser de gran utilidad en la evaluación, planeación y organización de la actividad ecoturística, con la finalidad de reducir el ruido ambiental producido por embarcaciones en beneficio de esta especie y de sus entusiastas observadores.

La sección de Aspectos Sociales e Históricos (Sección V) incluye a dos capítulos novedosos por su contenido sobre aspectos sociales e históricos del complejo lagunar Bahía Magdalena-Almejas. El capítulo 19 tiene un enfoque socio-económico sobre la pesquería del camarón que es uno de los recurso de mayor valor comercial de la región y el capítulo 20 ilustra el desarrollo histórico de la investigación científica en el complejo lagunar Bahía Magdalena-Almejas, a la par de la fundación y consolidación de los centros de investigación del Estado de Baja California Sur. El análisis socio-económico de la pesquería del camarón del capítulo 19 hace énfasis en la necesidad de mejorar la regulación pesquera-comercial regional, sugiriendo que este tipo de estudios debería ser imitado para otros recursos pesqueros explotados en el complejo lagunar con la finalidad de identificar de forma temprana, el posible impacto adverso de la explotación y manejo inadecuado de los recursos. Estas acciones de administración deben ser realizadas antes de llegar a niveles de sobre-explotación en perjuicio de las especies marinas y de la economía de la población regional y del Estado. La preservación y el uso responsable de los recursos bióticos marinos, debe ser la formula para mantener este complejo lagunar como una zona pesquera sustentable.

Finalmente, el capítulo 20 sintetiza los estudios publicados en distintos medios de comunicación escrita, realizados exclusivamente dentro del complejo lagunar Bahía Magdalena-Almejas, el cual

incorpora 338 publicaciones, además de incluir una perspectiva histórica y discusión sobre el contexto social y económico a nivel regional, nacional e internacional que promovieron y dieron origen a los primeros esfuerzos por explorar, investigar y conocer los recursos bióticos y abióticos del sistema lagunar Bahía Magdalena-Almejas.

Como editores de este libro, nuestra intención fue realizar una síntesis de la información científica y mostrar el estado del conocimiento del complejo lagunar, que sirva como libro de consulta para el público en general y para quienes tienen la responsabilidad de tomar las decisiones sobre el uso y aprovechamiento sustentable de los recursos naturales del complejo lagunar Bahía Magdalena-Almejas.

Editores René Funes Rodríguez Jaime Gómez Gutiérrez Ricardo Palomares García

### Agradecimientos

Se agradece el financiamiento para publicación al proyecto NSF (Biocomplexity): Linking human and biophysical processes in coastal marine ecosystems of Baja California (clave interna CIBNOR 995-0). También agradecemos al Ing. Edgar Yuen Sánchez (Subdirección de informática del CIBNOR) por la realización del diseño editorial de los manuscritos que conformaron este libro. Es imprescindible hacer un especial reconocimiento, a los árbitros que evaluaron el contenido de los capítulos del libro, ya que gracias a su profesionalismo y ayuda altruista, colaboraron para que esta obra tuviera una calidad excepcional.

Asimismo apreciamos ampliamente a los investigadores participantes, la distinción por haber atendido a esta convocatoria con trabajos que identifican con detalle el estado del conocimiento de los procesos físicos, químicos y biológicos en un contexto ecológico de algunas de las especies clave que habitan en el complejo lagunar. Finalmente agradecemos enfáticamente al Lic. Arturo Salcido Beltrán y Lic. Manuel Castillo de la Dirección de Publicaciones del IPN por realizar la gestión administrativa para obtener el ISBN del libro, y a la Lic. Teresa Jesús Barriga Ramírez (Jefa de la biblioteca del CICIMAR-IPN) por la ayuda prestada en la clasificación del libro. De igual forma, agradecemos ampliamente el apoyo y gestión del Dr. Rogelio González Armas (Subdirector de Extensión y Apoyo Académico del CICIMAR-IPN) para la impresión de esta obra. Deseamos dedicar esta obra a la memoria del Dr. Juan Elorduy Garay (QPD) por su valiosa amistad, pero sobre todo por su profunda influencia personal en el quehacer cotidiano de la comunidad académica del CICIMAR-IPN.

### **IN MEMORIAM**

### Juan Félix Elorduy Garay

### 1955-2007

Para mí es un verdadero honor escribir sobre un amigo tan querido. Quienes lo conocíamos bien sabemos que detrás de su carácter duro y serio, pero siempre atento y amable, había una persona de una gran calidad humana, que fuera del trabajo era extraordinariamente ameno. Pocos saben el significado de llamarse Jon, en lugar de Juan, nombre impuesto por el franquismo, en cuanto a la identificación de sus orígenes. Cómo olvidar las anécdotas que contaba sobre su tierra natal, el País Vasco, que nos permitían imaginar hermosos pueblos pesqueros como Bakio o Bermeo, en las costas del Mar Cantábrico, donde Jon vivió cerca del mar y la pesca. El legado que deja a sus estudiantes es invaluable, sobre todo el hacer del razonamiento y el buen pensar una forma de vida, más cuando uno se dedica a la investigación científica. Conocer y comprender todo lo que hacemos eran preceptos básicos dentro de sus normas de conducta. Ese comportamiento se puso de manifiesto en el seminario de los alumnos de doctorado del CICIMAR que él coordinaba, donde las críticas y las discusiones eran de gran nivel intelectual, junto con las formas para presentar los avances de los estudiantes, que Jon vigilaba con esmero y detalle. Decir y escribir bien las ideas, junto con la honestidad profesional y moral, eran sin duda características de su personalidad. Llegó a México a Ensenada a estudiar la maestría en el CICESE, sin imaginar que de esa experiencia se fundaría una familia mexicana con marcados rasgos vascongados, como los nombres de sus hijos, Itziar e Iñaqui, a quienes se dedicó con la más absoluta responsabilidad y cariño, o la frase de bienvenida grabada en la entrada de su casa Gure ametsa, nuestro sueño. Ya contratado por la UABCS realizó sus estudios de doctorado en la Universidad de Bilbao con fuertes restricciones económicas. Se graduó con los máximos honores: Summa cum *laude* según reza su diploma. En el CICIMAR, además de su labor docente y de investigación, tenía a su cargo la revista científica Oceánides, que dirigió los últimos 14 años. Jon era el editor del Centro por antonomasia. El nombre de la revista permanecerá ligado al recuerdo de Jon, cuyo nombre acuñó por analogía con el de las ninfas del mar de la mitología llamadas oceánidas, hijas del dios Océano. Por esa labor Oceánides recibió el premio nacional de la Feria Internacional del Libro de Guadalajara en la categoría de revistas científicas, que le dio gran prestigio y reconocimiento. Lamentamos que no se le hayan concedido los "diez añitos" que pedía al inicio de su enfermedad, desde entonces deseamos fervientemente el milagro de su curación. Fueron menos de dos años de una lucha intensa, le preocupaba sacar adelante a sus hijos y nunca dejó de pensar en el trabajo. Falleció el 22 de septiembre de 2007, a dos días de cumplir 52 años. Lo recordaremos con enorme cariño y admiración.

### Victor M. Gómez Muñoz

### **Instituciones participantes**

(POR ORDEN ALFABÉTICO)

#### A&M University, College Station Texas

Department of Wildlife and Fisheries Sciences, TX 77843, USA

#### Centro de Estudios Tecnológicos del Mar

Av. IPN y calle CETMAR s/n, Col. Playa Palo de Santa Rita, A.P. 585, La Paz, 23096 Baja California Sur, México

#### Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas

Av. IPN s/n. Col Playa Palo de Sta. Rita, La Paz, 23096, Baja California Sur, México

#### Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional

Blvd. Juan de Dios Bátiz 250, A.P. 280, Guasave, 81101, Sinaloa, México

### Centro de Investigación Científica y Educación Superior de Ensenada

Km 106 Carretera Tijuana-Ensenada, Ensenada, 22860, Baja California, México

### Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, A.C.

Laboratorio de Manejo Ambiental. Av. Sábalo-Cerritos s/n. Estero del Yugo, A.P. 711, Mazatlán, 82000, Sinaloa, México

### Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S.C.

Mar Bermejo 195, Col. Playa Palo de Santa Rita. A.P. 128, La Paz, 23090, Baja California Sur, México

### Centro de Investigación en Ciencia Aplicada y Tecnología Avanzada

Instituto Politécnico Nacional, Altamira, Km 14.5 Carretera Tampico-Puerto de Altamira, Altamira 89600, Tamaulipas, México

**Centro Regional de Investigación Pesquera La Paz** Instituto Nacional de La Pesca-SAGARPA, Carretera a Pichilingue, Km 1 s/n, La Paz, 23020, Baja California Sur, México

### Comisión Nacional para la Conservación de la Biodiversidad

Av. Liga Periférico-Insurgentes Sur 4903. Col. Parques del Pedregal, Del. Tlalpan. México, D.F. 14010

### Instituto de V. I. Vernadsky de Geoquímica y Química Analítica

Academia de Ciencias de Rusia, Moscú, Rusia

#### Universidad Autónoma de Baja California Sur

Carretera al Sur Km 5.5. A.P. 19-B, La Paz, 23080, Baja California Sur, México

#### Universidad Autónoma de Nuevo León

Facultad de Ciencias Biológicas. Pedro de Alba y Manuel L. Barragán, Ciudad Universitaria. San Nicolás de los Garza, Nuevo León, México

#### Universidad de Alicante

Departamento de Ciencias del Mar y Biología Aplicada, Unidad de Biología Marina. A.P. 99, E-03080 Alicante, España

### Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Biología

A.P. 70-305, México, D.F. 04510

Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Ciencias del Mar y Limnología A.P. 70-305, México, D.F. 04510

### **Árbitros** (por orden alfabético)

Dr. Abitia Cárdenas Andrés. Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas, Instituto Politécnico Nacional

Dr. Aguirre Gómez Raúl. Instituto de Geografía, Universidad Nacional Autónoma de México

Dr. Alatorre Mendieta Miguel Ángel. Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, Universidad Nacional Autónoma de México

Dra. Alonso Rodríguez Rosalba. Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, Universidad Nacional Autónoma de México

Dr. Álvarez Andrade Alejandro. Universidad Autónoma de Baja California Sur

Dr. Álvarez Silva Carlos. Universidad Autónoma Metropolitana

Dr. Balart Páez Eduardo. Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste

Dra. Bazúa Durán Carmen. Universidad Nacional Autónoma de México

Dr. Bocco Verdinell Gerardo. Centro de Investigaciones en Ecosistemas, Universidad Nacional Autónoma de México

Dr. Campos González Ernesto. Universidad Autónoma de Baja California

Dr. Castellote Olivito Juan Manuel. Universidad de Valencia España

Dra. Carrillo Bibriezca Laura. Colegio de La Frontera Sur, ECOSUR

Dr. Castro Valdez Rubén. Universidad Autónoma de Baja California

Dr. Choumiline Evgueni. Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas, Instituto Politécnico Nacional

Dr. Durazo Arvizu Reginaldo. Universidad Autónoma de Baja California Dr. Flores Coto César. Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, Universidad Nacional Autónoma de México

Dr. Färber Lorda Jaime. Centro de Investigación Científica y Educación Superior de Ensenada

Dra. Fernández Alamo María Ana. Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México

Dra. Franco Gordo María del Carmen. Centro Universitario de la Costa Sur, Universidad de Guadalajara

Dr. Galván Magaña Felipe. Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas, Instituto Politécnico Nacional

Dra. Gendron Laniel Diane. Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas, Instituto Politécnico Nacional

Dra. González Macías María del Carmen. Instituto Mexicano del Petróleo

Dra. González Lozano Cristina. Instituto Mexicano del Petróleo

Dr. Green Ruíz Carlos. Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, Universidad Nacional Autónoma de México

Dr. Gutiérrez de Velasco Sanroman Guillermo. Centro de Investigación Científica y Educación Superior de Ensenada

Dr. Gutiérrez González José Luis. Centro Regional de Investigación Pesquera-La Paz INP-SAGARPA

Dr. Guzmán del Poo Juan. Universidad Autónoma de Baja California Sur

Dr. Hendrickx Reners Michel. Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, Universidad Nacional Autónoma de México

Dr. Hernández Herrera Agustín. Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas, Instituto Politécnico Nacional Dra. Ibáñez Aguirre Ana Laura. Universidad Autónoma Metropolitana

Dra. Ibarra Ovando Silvia E. Centro de Investigación Científica y Educación Superior de Ensenada

Dra. León Tejera Hilda. Facultad de Ciencias Universidad Nacional Autónoma de México

Dr. Licea Durán Sergio. Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, Universidad Nacional Autónoma de México

Dr. López Cortés David. Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste

Dr. Mas Caussel Jean-Francois. Instituto de Geografia, Universidad Nacional Autónoma de México

Dra. Meave del Castillo María Esther. Universidad Autónoma Metropolitana

Dr. Meling López Enrique. Universidad Autónoma de Sonora

Dr. Morales Pérez Rubén A. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua

Dra. Morquecho Escamilla Lourdes. Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste

Dr. Okolodkov Yuri. Centro de Ecología y Pesquerías, Universidad Autónoma de Veracruz

Dr. Orduña Rojas Javier. Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral regional de Guasave, Instituto Politécnico Nacional

Dr. Ponce Díaz Germán. Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste Dr. Ramírez Aguirre Hernán. Universidad Autónoma de Baja California Sur

Dr. Reyes Bonilla Héctor. Universidad Autónoma de Baja California Sur

Dr. Ríos Jara Eduardo. Centro Universitario de Ciencias Biológicas y Agropecuarias, Universidad de Guadalajara

Dr. Robinson Mendoza Carlos Jorge. Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, Universidad Nacional Autónoma de México

Dr. Ruíz Luna Arturo. Centro de Investigaciones en Alimentación y Desarrollo A.C.

Dr. Salazar Vallejo Sergio. Colegio de la Frontera Sur, ECOSUR

Dr. Sánchez Carrillo Salvador. Instituto Tecnológico de Sonora

Dr. Schmitter Soto Jacobo. Colegio de la Frontera Sur, ECOSUR

Dr. Suárez Morales Eduardo. El Colegio de la Frontera Sur, ECOSUR

Dr. Urbán Ramírez Jorge. Universidad Autónoma de Baja California Sur

Dr. Uriel Becerril David. Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, Universidad Nacional Autónoma de México

Dra. Van Tussenbroek Brigitta Ine. Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, Universidad Nacional Autónoma de México

Dr. Zavala García Faustino. Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, Universidad Nacional Autónoma de México

### Área de estudio: Complejo lagunar Bahía Magdalena-Almejas

El complejo lagunar Bahía Magdalena-Almejas se localiza en la costa sur-occidental de la península de Baja California Sur (24º 16´ N y 25º 45´ N y 111º20´ W y 112º 18´ W). Este sistema tiene tres zonas geomorfológicamente distintas: Zona de Canales (137 km²) ubicada al noroeste; Bahía Magdalena (883 km²) situada en la parte central del complejo; y Bahía Almejas (370 km²) situada al sureste (Fig. 1) (Álvarez-Borrego et al. 1975, Hernández-Rivas et al. 1993).

La Zona de Canales presenta una geomorfología irregular, conformada por numerosos esteros y canales someros (usualmente <12 m, pero con profundidades máximas de 18 m) bordeados por bosques de mangle en la costa Este y por dunas elevadas de arena al Oeste, en la Isla Magdalena. En la porción norte, la zona de Canales se comunica con la plataforma continental a través de dos bocas relativamente angostas y poco profundas denominadas Santo Domingo (1.9 km de ancho) y La Soledad (1.7 km de ancho); desde este último punto existe un canal somero en dirección a Puerto Adolfo López Mateos (población en 2005 = 2171 habitantes). En su porción sureña, el canal principal presenta condiciones favorables para la navegación que comunica con Bahía Magdalena, con profundidades promedio de 11 m, a excepción de la zona conocida como La Curva del Diablo que es relativamente más somera, situada a unos 30 km al sur de López Mateos (Norris & Gentry 1974).

Bahía Magdalena esta comunicada con mar abierto, a través de una amplia boca de acceso de 5.6 km de ancho, con 40 m de profundidad máxima, ubicada entre Punta Entrada (Isla Magdalena) y Punta Redonda (Isla Margarita). A partir de esta boca se extiende un canal de navegación con profundidades entre 15-30 m que comunica con Puerto San Carlos (población en 2005 = 4716 habitantes), el cual se orienta paralelamente a la Isla Magdalena. La parte central de la bahía tiene una profundidad entre 15 y 20 m, la cual disminuye hacia el oriente con una pendiente suave hacia la costa, quedando expuestos frecuentemente extensos bancos de arena durante periodos de bajamar hacia el Este y Noreste de la bahía.

La zona de Bahía Almejas tiene una profundidad promedio de 8 m y una cuenca de 30 m de profundidad máxima. El Canal de Gaviotas permite la navegación de embarcaciones de poco calado (profundidad 20 m) y comunica Bahía Magdalena y Bahía Almejas. Esta última, se conecta con el mar abierto a través de dos bocas, una llamada Canal de Rehusa de 2.5 km de ancho en su parte mas estrecha, ubicada entre Isla Margarita e Isla Creciente y otra boca, conocida como Boca y Barra Flor de Malva, de carácter temporal con amplitud y profundidad altamente variables, localizada en la porción mas sureña del complejo lagunar.

El complejo lagunar tiene tres islas: Isla Magdalena, mide aproximadamente 90 km de largo y tiene forma de escuadra, se sitúa al Oeste del litoral del Municipio de Comondú (24° 32′ N y 25° 16′ N y 112° 18 W y 112° 03′ W). Esta isla tiene como principal asentamiento el Puerto Magdalena (población en 2005 = 112 habitantes). La segunda es la Isla Margarita, con aproximadamente 33.8 km de largo y 7.2 km de ancho (24° 31' N y 24° 18' N y  $112^{\circ}$  18' W y  $112^{\circ}$  00  $^{\prime}$  W), presenta elevaciones que forman acantilados y extremos rocosos y una elevación máxima de 566 m sobre el nivel medio del mar (Monte Margarita). La isla esta habitada por militares concentrados en una base de la Armada de México en Puerto Cortés (población en 2005 = 128 habitantes) y por pescadores en Puerto Alcatraz (población en 2005 = 143 habitantes). La isla es considerada como refugio de múltiples aves acuáticas migratorias, destacando la colonia de pelícanos Pelecanus occidentalis, considerada como la concentración más grande del Estado (Zárate-Ovando et al. 2006) y colonias permanentes de lobos marinos Zalophus californianus. Su vegetación es escasa y con una macrofauna relativamente reducida o al menos poco estudiada. La tercera es la Isla Creciente (Bahía Almejas) conformada por una franja angosta de tierra de aproximadamente 23 km de largo (24° 22′ N y 24° 19′ N y 111° 26′ W y 111° 40′ W). En Isla Creciente a menudo se instalan campamentos estacionales de pescadores para organizar la captura de almeja y también ha sido clasificada como área de refugio de múltiples aves acuáticas y algunos mamíferos marinos.

Las tres zonas descritas (Zona de Canales, Bahía Magdalena y Almejas) presentan extensos bosques de manglar que en conjunto cubren un área cercana a las 17000 ha de superficie (Acosta-Velázquez & Ruíz-Luna 2007). Este extenso bosque de manglar se ubica en una latitud cercana al límite norte de distribución de los sistemas de manglar en el mundo, delimitado por la isoterma de 20° C (Blaber 2007). El 75% de la superficie del manglar del complejo lagunar se ubica entre Bahía Magdalena y la zona de canales y el resto, en Bahía Almejas. La superficie ocupada por los bosques, representa aproximadamente el 70% de la cobertura de manglar total existente en Baja California Sur y se considera que el grado actual de deforestación es aun indetectable (Acosta-Velázquez & Ruíz-Luna 2007). Los bosques están conformados principalmente por tres especies de mangle: rojo (Rhizophora mangle), negro (Avicenia germinans) y blanco (Laguncularia racemosa). Las zonas de manglar en Bahía Magdalena contribuyen de forma importante, en la producción total de la materia orgánica depositada en los sedimentos y en la producción de follaje que es transportada por las corrientes marinas  $(1094 \text{ g m}^2 \text{ año}^{-1}, \text{ con un máximo en verano de } \sim 6 \text{ g m}^2 \text{ d}^{-1})$ 



Fig. 1. Toponimia del sistema lagunar de Bahía Magdalena-Almejas ubicada en la costa sur-occidental de la península de Baja California Sur, México

(Chávez-Rosales 2006). A su vez, los bosques de manglares propician la reducción de corrientes que favorece la acumulación de sedimentos (aun no cuantificado) y protección a las poblaciones humanas contra ciclones y huracanes. Estos bosques constituyen además un hábitat de refugio y alimentación crítico para diversas comunidades, integradas por un gran número de vertebrados e invertebrados de varios niveles tróficos, muchos de ellos de valor comercial y ecológico (Chávez-Rosales 2006).

**Geomorfología.** El complejo lagunar de Bahía Magdalena-Almejas esta incluido en la subprovincia geológica de Llanos de Magdalena (con ligera pendiente Este-Oeste fácilmente erosionable) adyacente a la subprovincia geológica de Sierras Volcánicas y Mesetas. La subducción y transformación de la falla Tosco-Abreojos a lo largo de la península de Baja California, ha formando las Islas de Magdalena y Margarita (Spencer & Normark 1979, Blake 1984, Ibarra-Obando 2001, Sedlock 2003).

Frente a Bahía Magdalena existe una plataforma continental estrecha que cambia abruptamente de 40 a 110 m de profundidad (Zaytsev et al. 2003, Gómez-Gutiérrez & Robinson 2006). En la boca de Bahía Magdalena existen formaciones rocosas de origen volcánico que sobresalen sobre los sedimentos, donde se desarrolla una fauna demersal diversa, de acuerdo con observaciones realizadas con cámaras submarinas (Robinson & Gómez-Gutiérrez observ pers). El fondo marino de la cuenca profunda de Bahía Magdalena esta compuesta por roca volcánica y sedimentaria expuesta o ligeramente cubierta con sedimento reciente del cuaternario. Mientras que en el interior de Bahía Magdalena, las corrientes de marea tienen un efecto directo en la distribución de sedimentos y el fondo esta formado por sedimentos muy finos (de limos a arena fina). En los últimos 80 mil años las depresiones fueron formadas a través de grandes extensiones costeras de la región, combinando procesos tectónicos, sedimentarios e hidrológicos (Lankford 1977). La elevación del nivel del mar en los últimos 20 mil años (Lambeck & Chappell 2001) posiblemente inundaron las depresiones y transformaron la geomorfología actual del complejo lagunar Bahía Magdalena-Almejas.

El complejo lagunar esta compuesto por lagunas de plataforma interna de barrera, protegidas por barras arenosas que se han desarrollado en los últimos 5000 años y por lagunas de tipo estructural tectónico caracterizadas por depresiones y barreras producidas por fallas tectónicas, levantamientos rocosos y/o vulcanismo (Lankford 1977). La laguna de Santo Domingo en la parte norte conocida como Zona de Canales y también la laguna al extremo sudeste de Bahía Almejas (Rancho Bueno), son depresiones costeras alineadas sobre la costa y protegidas del mar por barreras arenosas. En cambio, Bahía Magdalena y Bahía Almejas son lagunas de origen tectónico separadas del mar por una barrera formada por levantamientos rocosos. En relación a su edafología, el complejo lagunar tiene principalmente tres tipos de suelos: (1) suelos tipo Regosol que son comunes en zonas áridas, que se caracterizan por no presentar capas bien diferenciadas (estratificadas), y se desarrollan sobre materiales no consolidados, alterados y de textura fina como en playas y dunas y en mayor o menor grado, en las laderas de los cerros de las islas; (2) suelo tipo Yermosol caracterizado por una capa superficial de tonalidades claras y un subsuelo rico en arcilla; y (3) suelos tipo Solonetz (derivado de los vocablos rusos "sol" que significa sal y "etz" que es un sufijo indicador del superlativo) caracterizados por un alto contenido de sodio y magnesio asociado a terrenos llanos.

Clima. El clima es seco, semi-cálido, con temperatura del aire promedio anual superior a los 18° C, con una temperatura mínima en enero (14.5° C) y máxima en agosto-septiembre (32° C). El complejo lagunar presenta condiciones anti-estuarinas como resultado de una reducida tasa de precipitación y escasa afluencia de agua dulce, así como de una elevada tasa de evaporación (Álvarez-Borrego et al. 1975). Sus principales recursos hídricos continentales son de origen lótico (arroyos temporales, estuarios y canales). Este complejo presenta una precipitación anual promedio que flúctua entre 48.5 y 153.0 mm año<sup>-1</sup>, con variaciones estacionales de 71 mm entre otoño e invierno y 54 mm entre primavera y verano (García 1973, Rueda-Fernández 1983, Arriaga et al. 2002). Las precipitaciones tienen fluctuaciones periódicas de aproximadamente 10 años asociadas con el patrón de aparición de manchas solares (Rueda-Fernández 1983). En consecuencia, el sistema lagunar no es alimentado por corrientes de agua permanente, aunque la humedad relativa del ambiente frecuentemente se presenta en forma de rocío (Rofomex 1983).

La época de ciclones tropicales con intensidades que van desde onda tropical hasta huracán, usualmente ocurren de mayo a octubre, con mayor intensidad y frecuencia entre julio y septiembre. El número promedio de eventos climáticos por año (1990-2005) es de 6.9 tormentas tropicales, 4.2 huracanes con categorías H1-H2 y 4.1 huracanes con categorías H3-H5 (CFE, http:// www.cfe.gob.mx/). Estas tormentas, cuando pasan cerca del complejo lagunar, representan la más significativa fuente de agua dulce de la región, auque su impacto sobre la comunidad biológica aún no ha sido estudiado.

Los vientos predominantes en el complejo lagunar son del Noroeste-Sureste, siendo los principales responsables de los eventos de surgencia costera por forzamiento de viento durante todo el año, pero con mayor intensidad entre febrero y mayo, mientras que los vientos del Sur persisten usualmente entre julio y septiembre (Bakun & Nelson 1977, Zaytsev et al. 2003). El patrón sinóptico del viento tiene una incidencia del Noroeste en un 67%, con intensidad promedio de 5 m s<sup>-1</sup> y valores máximos de 15 m s<sup>-1</sup> (García-Escobar 1993). Se presentan también los vientos de brisa y esporádicamente, vientos por influencia de ciclones tropicales en verano-otoño y de sistemas atmosféricos frontales provenientes del norte durante el invierno.

**Hidrografía.** La temperatura y salinidad del agua es consistentemente mayor en las porciones someras de la Laguna de Santo Domingo, en la Zona de Canales y el Estero Rancho Bueno (Bahía Almejas) que en las partes profundas del complejo lagunar y el área cercana a las bocas de comunicación con el exterior. Las bocas se caracterizan por presentar altas concentraciones de nutrientes, baja temperatura, salinidad y menor concentración de oxígeno disuelto y pH (Álvarez Borrego et al. 1975, Lluch-Belda et al. 2000, Zaytsev et al. 2003, Gómez-Gutiérrez & Robinson 2006, Rodríguez-Mata 2006, Gómez-Gutiérrez et al. 2007). Un patrón similar se observa en la cantidad de partículas suspendidas, con menor transparencia del agua en las zonas someras donde ocurre la mayor concentración de material particulado (Aguirre-Bahena et al. 2002, Rosales-Villa 2004).

El promedio de la temperatura superficial del mar (TMS) presenta un pronunciado contraste entre el mes típicamente más frío (mayo, 17.8° C) y el más cálido del año (agosto, 29° C) siendo en general, comparativamente más cálido el interior del complejo lagunar que la porción costera adyacente (Hernández-Rivas et al. 1993, Lluch-Belda et al. 2000). El valor promedio de la TSM de enero a marzo fluctúa entre 19-20° C, con un incremento en julio y valores mensuales máximos en septiembre (30.0° C), disminuyendo en octubre (26° C) y diciembre (22.0° C) (Palomares-García & Gómez-Gutiérrez 1996, Palomares-García et al. 2003, Funes-Rodríguez et al. 2001). La secuencia de cambios del ambiente está estrechamente asociada con la región costera adyacente (Alvarez-Borrego et al. 1975, Acosta-Ruíz & Lara-Lara 1978, Guerrero-Godínez et al. 1988, Lluch-Belda et al. 2000) que le transmite la influencia de corrientes costeras superficiales y la zona de surgencia costera desde el exterior de Bahía Magdalena (Zaytsev et al. 2003). La convergencia de agua fría de la Corriente de California proveniente del norte y la Contracorriente costera que es cálida por el sur, originan un sistema frontal localizado transversalmente en la parte oceánica frente a Bahía Magdalena, con una permanencia superior a nueve meses (Etnoyer et al. 2004, 2006).

La hidrodinámica del complejo lagunar en relación a la región costera adyacente, ha sido estudiada principalmente en la boca de acceso a Bahía Magdalena y en menor grado, en las bocas de Santo Domingo y La Soledad (norte de la Zona de Canales) y el Canal de Rehúsa (Bahía Almejas) (Obeso-Nieblas et al. 1999, Zaitsev et al. 2003). En la Boca de La Soledad la velocidad del flujo alcanza 1.09 m s<sup>-1</sup>, en el Canal la Gaviota es de 0.52 m s<sup>-1</sup> y en el Canal Rehusa de 0.50 m s<sup>-1</sup> (Obeso-Nieblas et al. 1999), mientras que en Punta Entrada puede alcanzar hasta 1.5 m s<sup>-1</sup> (Zaitsev et al. 2003, 2007, Robinson & Gómez-Gutiérrez 2007). Estas bocas intercambian nutrientes provenientes de los manglares y de la zona adyacente a la bahía por medio de eventos de surgencia costera (Zaitsev et al. 2003, Rosales-Villa 2004, Rodríguez-Meza 2005). La plataforma occidental de Bahía Magdalena esta influenciada por corrientes y procesos de mezcla originados por la marea, circulación oceánica y corrientes de gradiente horizontal que forman un complejo patrón de flujo geostrófico (Zaytsev et al. 2003, 2007). El área oceánica adyacente al sistema lagunar Magdalena-Almejas es una zona típica de surgencia, donde los nutrientes son introducidos al sistema por medio de una combinación entre el transporte vertical de surgencia y el transporte horizontal producido por intensas corrientes de marea (Zaitsev et al. 2003). Se estima que la intensidad máxima de la actividad de surgencia costera se presenta durante la primavera, con frecuentes variaciones como consecuencia de la influencia de los vientos dominantes y la pendiente batimétrica del declive continental (Bakun & Nelson 1977). El tipo de mareas del complejo lagunar es mixto semi-diurno donde se observa regularmente a dos pleamares y dos bajamares (24.8 h). La pleamar media superior es de 0.83 m y cerca de 1.5 m en la pleamar máxima, de acuerdo a la predicción de mareas para Puerto San Carlos (http://www.arachnoid.com/Jtides). El efecto de la marea en el intercambio de agua entre la región oceánica y el interior de Bahía Magdalena es físicamente posible debido a corrientes generadas durante el flujo y el reflujo, a través de su boca de acceso (Obeso-Nieblas et al. 1999, Zaitsev et al. 2003, Sánchez-Montante 2004). En Punta Entrada se forma un micro-frente termo-halino estacional, que se observa a simple vista como un abrupto cambio de coloración del agua y por el fuerte contraste en sus propiedades físico-químicas y biológicas, entre los tipos de agua de la plataforma continental y el interior de Bahía Magdalena (Gómez-Gutiérrez & Robinson 2006, Martínez-Gómez 2006, 2007).

Productividad biológica. Las tasas de acumulación de nitrógeno, carbono y fósforo orgánico (N<sub>ora</sub>, C<sub>ora</sub>, P<sub>ora</sub>) obtenidos de dos núcleos sedimentarios en la margen de Bahía Magdalena, indican que éstas han sido similares durante la etapa isotópica marina 2 (EIM2, 11.5-25 mil años), el último máximo glacial (UMG, 18-22 mil años), el holoceno tardío (HT, 3 mil años) y la época reciente. Sin embargo, las tasas de acumulación de ópalo biogénico (BSi) han sido relativamente más elevadas durante la EIM2 y UMG que durante el HT (Sánchez & Carriquiri 2007). Esto implica que, desde al menos hace 25 mil años, el sistema de vientos que favorecen el transporte de Ekman y los eventos de surgencia a lo largo de la costa de California y Baja California, han dado lugar a una elevada productividad primaria dominada por diatomeas (evidenciada por la elevada tasa promedio de C/N = 10 y la acumulación de ópalo biogénico). Estudios recientes de los niveles de concentración de clorofila muestran variaciones a lo largo del año, con valores mínimos de noviembre a marzo ( $<1.5 \text{ mg chl}-a \text{ m}^{-3}$ ) y concentraciones mayores de abril a julio (hasta 9.0 mg chl- $\alpha$  m<sup>-3</sup>) (Palomares-García et al. 2003, Rosales-Villa 2004, Rodríguez-Mata 2006). Sin embargo, hasta el momento aun no se han realizado estimaciones de la producción primaria medida in situ en el complejo lagunar.

El ciclo anual de biomasa zooplanctónica es caracterizado por valores comparativamente bajos de noviembre a abril (<2.0 ml m<sup>-3</sup>) y concentraciones mayores durante el resto del año (usualmente <4.0 ml m<sup>-3</sup>) (Palomares-García et al. 2003). Un patrón de variación estacional de la biomasa similar fue determinado en un estudio donde se utilizaron tres tipos de redes con diferente apertura de malla (54, 333, 505  $\mu$ m), (Palomares-García & De Silva-Dávila 2007). Las tasas de producción secundaria fueron estimados en la plataforma continen-

tal adyacente a Bahía Magdalena para el eufáusido Nyctiphanes simplex estimando una producción anual atribuida a crecimiento somático de 273 mg m<sup>-2</sup> año<sup>-1</sup> y una proporción producción biomasa (P/B) de 7 año-1. Los mayores valores de producción secundaria ocurren en primavera-verano reduciéndose considerablemente durante el otoño (Gómez-Gutiérrez et al. 1996). Las tasas de producción secundaria del zooplancton dentro del complejo lagunar han sido estimadas únicamente a través de producción de huevos de cinco especies de copépodos, cuyas tasas específicas de crecimiento de hembras fueron usualmente <0.20 µg C d<sup>-1</sup>, siendo mas elevada en verano (agosto) que en invierno (febrero) (Gómez-Gutiérrez et al. 1999, datos sin publicar). No obstante, este estudio fue realizado durante un evento de calentamiento El Niño (1997-98), por lo que la turbulencia y el calentamiento anómalo pudieran haber mantenido condiciones de productividad secundaria reducidas, siendo las tasas de producción de huevos y de crecimiento específico probablemente más elevadas durante periodos fríos (La Niña). La producción secundaria anual de cuatro especies de copépodos omnívoros, estimadas en 2000 y 2001 considerados comparativamente mas fríos que en 1997-1998, fue de 0.4  $\mu$ g C d<sup>-1</sup> y éstas tasas fueron aún más elevadas (hasta 1  $\mu$ g C d<sup>-1</sup>) para una especie de copépodo carnívoro (Labidocera trispinosa) en Bahía Magdalena (Palomares-García & De Silva-Dávila 2007).

Biogeografía. En el Pacífico, existe evidencia de la gran similitud en los patrones biogeográficos de especies oceánicas del fitoplancton, zooplancton y nécton (cefalópodos, peces y mamíferos marinos). Estos patrones responden a masas de agua con propiedades hidrográficas distintivas, que interactúa de forma dinámica con otras masas de aqua bajo distintos regimenes climáticos (McGowan 1985). La zona de transición es delimitada por el Norte, por las masas de agua Subártica, el agua Subtropical del Pacífico Central al Oeste y el agua Tropical Ecuatorial por el sur. El agua Subártica fluye en la Corriente de California por el Norte formando un núcleo de baja temperatura y salinidad y alto contenido de oxígeno que se dirige hacia el Ecuador, entre la superficie y 100 m de profundidad. El flujo del agua Subártica se ve disminuido al sur de Punta Eugenia, donde el incremento en la temperatura y salinidad se produce por la mezcla de agua más cálida y salina, a lo largo del recorrido del flujo de la Corriente de California (Durazo & Baumgartner 2002). Por el Sur, se presenta un contraflujo costero en dirección al polo denominado como la Contracorriente Costera, con mayor temperatura y salinidad (Hickey 1979, Lynn & Simpson 1987).

El complejo lagunar Bahía Magdalena-Almejas se localiza en la zona frontal caracterizada por una amplia variabilidad espacio-temporal de sus características oceanográficas, en comparación a regiones de mayor o menor latitud. En él confluyen la flora y fauna marina residente, adaptada a los cambios del ambiente y la presencia temporal de especies migratorias y especies planctónicas, asociadas con el transporte de masas de agua (Briggs 1974, Brusca & Wallerstein 1979, Castro-Aguirre & Torres-Orozco 1993, Palomares-García & Gómez-Gutiérrez 1996, Gárate-Lizárraga & Siqueiros-Beltrones 1998). No obstante, la zona frontal es altamente dinámica y su distribución usualmente fluctúa entre Punta Abreojos y el sur del complejo lagunar Bahía Magdalena-Almejas (Etnoyer 2004, 2006).

La evidencia de cómo la estructura de la comunidad en Bahía Magdalena cambia en tiempo y espacio, se manifiesta más claramente en los organismos planctónicos y nectónicos que en los organismos sésiles (demersales y bentónicos). Las especies de zooplancton de afinidad templada, como el eufáusido Nematoscelis difficilis o los copépodos Calanus pacificus y especies del género Labidocera, tienen como límite de distribución sureño las cercanías del complejo lagunar Bahía Magdalena-Almejas. Aunque se han registrado poblaciones relictas de estas especies en el Golfo de California, usualmente restringidas a las aguas profundas. La comunidad tropical de zooplancton comúnmente es trasportada hacia el norte por el flujo de la Contracorriente Costera invadiendo la plataforma continental (V gr. Euphausa eximia, Euphausia distinguenda, Euphausia tenera, Nematoscelis gracilis, Acarita tonsa) (Gómez-Gutiérrez et al. 1995, Palomares-García & Gómez-Gutiérrez 1996).

La zona de transición es dominada en términos de biomasa por el crustáceo decápodo de la familia Galatheidae (Pleuroncodes planipes) que presenta incursiones significativas hacia el norte durante eventos de El Niño (Aurioles-Gamboa et al. 1994, Gómez-Gutiérrez et al. 2000). Los cambios en la composición y estructura de las asociaciones de copépodos y larvas peces en Bahía Magdalena se relacionan con el ciclo térmico estacional y la influencia de aguas provenientes de la zona nerítica advacente (Funes-Rodríguez et al. 1998, 2001, Palomares-García & Gómez-Gutiérrez 1996, Palomares-García et al. 2003, Avendaño-Ibarra et al. 2004, López-Ibarra & Palomares-García 2006). En consecuencia, es posible identificar la presencia de copépodos y larvas de peces de especies residentes y de especies de origen nerítico y oceánico que penetran por el efecto transporte del flujo de mareas (Aceves-Medina et al. 1992, Palomares-García et al. 2003, Avendaño-Ibarra et al. 2004, Gómez-Gutiérrez & Robinson 2006, Gómez-Gutiérrez et al. 2007).

La regionalización zoogeográfica de la distribución de los peces del Pacífico Noreste (Allen & Smith 1988) esta basada en los esquemas propuestos por McGowan (1971) y Briggs (1974), que incluye la provincia San Dieguina que se extiende desde el sur de California, EU, hasta Bahía Magdalena y la provincia Mexicana, que se extiende desde el sur de Bahía Magdalena hasta el Golfo de Tehuantepec. En la provincia San Dieguina no existe un cambio gradual aparente de las especies de origen templado y tropical, lo cual se debe a que las especies de la fauna de origen templado, que son comunes en el sur de California, frecuentemente extienden su ámbito de distribución hasta el sur de Bahía Magdalena, adaptadas parcial o totalmente a las zonas de surgencia costera. En cambio las especies de origen tropical, a pesar de presentar una marcada disminución entre Cabo San Lucas y Bahía Magdalena, encuentran sitios apropiados dentro de lagunas costeras y ensenadas de la costa occidental de Baja California Sur (Briggs 1974).

Bahía Magdalena es la región donde usualmente se registra la mayor tasa de cambio de especies y por lo tanto, pudiera ser identificada como el límite norteño de la denominada provincia Mexicana (Briggs 1974). De acuerdo a lo anterior, la ictiofauna de Bahía Magdalena esta caracterizada por tres componentes: (1) templado (provincia San Dieguina); (2) subtropical; y (3) tropical que probablemente se originó al momento de la formación de la península de Baja California entre el Mioceno y el Plioceno (Castro-Aquirre & Torres-Orozco 1993). La diversidad específica de peces óseos del sistema lagunar consta de 260 especies (De la Cruz-Agüero et al. 1994, Galván-Magaña et al. 2000) que representan aproximadamente el 65% del total de 400 especies de peces óseos reportadas en la zona nerítica de la costa occidental de la península de Baja California (Fisher et al. 1995, Moser 1996). La elevada diversidad de esta región no es característica de un grupo taxonómico en particular, ya que también se presenta en los dinoflagelados (168 especies, Gárate-Lizárraga et al. 2007), 279 especies de macroalgas y tres fanerógamas (Hernández-Carmona et al. 2007) y 152 especies de copépodos (Henández-Trujillo et al. 2004). Además, el complejo lagunar es uno de los lugares de la costa del Pacífico donde es posible pescar sardinas durante todo el año (Félix-Uraga et al. 2004, 2007).

Impacto humano en el ecosistema del complejo lagunar de Bahía Magdalena-Almejas. Se ha demostrado que los ecosistemas marinos con alta biodiversidad del mundo, tienden a ser más productivos y estables que los ecosistemas que han perdido su biodiversidad por razones naturales o actividades humanas (Worm et al. 2006). El complejo lagunar Bahía Magdalena-Almejas por su alta biodiversidad y su incomparable belleza escénica ha sido considerado por la organización World Wildlife Fund (WWF), como uno de los nueve hábitats litorales más importantes que requieren ser protegidos en México (http://www.seawatch.org). A su vez, la Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad en México (CONABIO) designó al complejo lagunar como región prioritaria hidrológica y como Área de Importancia de Conservación de Aves (AICA) (Zárate-Obando et al. 2006). De igual forma, es uno de los sitios piloto de la Iniciativa de Conservación Marina que abarca desde Baja California, hasta el Mar de Bering (B2B, Baja California to Bering Sea ecoregion) (Etnoyer et al. 2004, 2006).

En la actualidad el deterioro ambiental del complejo lagunar, tiene un componente originado por los escasos recursos sanitarios de la población, debido a que actualmente no cuentan con una planta de aguas residuales ni red de drenaje. No obstante en el año 2007 el Gobierno del Estado de Baja California Sur, programó una significativa inversión económica para la construcción de la red sanitaria y lagunas de oxidación para reducir el aporte de aguas negras a la bahía. Otro riesgo potencial para la salud de la población y el ecosistema son los tiraderos de basura al aire libre y de aquellos productos del desecho de los recursos marinos explotados a lo largo de sus costas, playas y zonas de manglar. Otros problemas relevantes son; la pesca furtiva de especies protegidas (tortuga marina), la pesca durante los periodos de veda (camarón) y la captura de ejemplares por debajo de la talla legal mínima (sardinas). Además, existe una creciente demanda de la proteína de la sardina para alimentos balanceados y recientemente para la maricultura de atún que aumentan la cuota de pesca de sardina de manera significativa. Esto ha causado gran preocupación en la comunidad, la industria pesquera sardinera y en organizaciones conservacionistas (http:// www.seawatch.org). Por otro lado, el uso de redes agalleras y de arrastre tipo chango (ilegales, pero desafortunadamente en uso frecuente debido a la falta de vigilancia oficial), tienen un impacto destructivo en los fondos arenosos del ecosistema bentónico y demersal del complejo lagunar que son particularmente frágiles debido a su relativamente largo periodo de recuperación a este tipo de perturbación. Asimismo, la navegación de buques en los cuatro puertos marítimos (Puerto San Carlos, Adolfo López Mateos, Puerto Cortés y Puerto Alcatraz) son centros potenciales de dispersión de especies exógenas de carácter invasivo, producto del intercambio del agua de lastre que puede contener fauna y flora exótica. Aunque este tipo de impacto aún no ha sido formalmente evaluado en los diferentes puertos del estado de Baja California Sur, es imperativo realizar investigación al respecto.

La creciente demanda de actividades ecoturísticas, aunque representan una fuente de ingreso alternativa para los pescadores ribereños puede, si no es regulada, convertirse en un problema debido al ruido ambiental y al acoso ejercido sobre algunas poblaciones marinas (Ollervides & Rohrkasse 2007). Dos ejemplos de su impacto son la observación de la ballena gris en la zona de Canales y Bahía Magdalena durante el invierno y recientemente la observación de tortuga amarilla. Resulta imperativo emprender acciones de protección de esta área, para evitar la creciente presión antropogénica, que se traduce en deterioro ambiental y la pesquería ilegal, con objeto de mantener el ecosistema lo suficientemente estable y diverso para garantizar su alta productividad y sustentabilidad por tiempo indefinido, en beneficio de las futuras generaciones de los pobladores de Baja California Sur.

#### LITERATURA CITADA

- Aburto-Oropeza O, Ezcurra E, Danemann G, Valdez V, Murray J, Sala E (2008) Mangroves in the Gulf of California increase fishery yields. Proc Nal Academ Sci U S A NAS 105: 10456-10459
- Acosta-Ruíz M, Lara-Lara J (1978) Resultados físico-químicos de un estudio de variación diurna en el área central de Bahía Magdalena, BCS. Cienc Mar 5:37-46
- Acosta-Velázquez J, Ruíz-Luna A (2007) Variación en la cobertura, distribución y estructura de los manglares del complejo lagunar Bahía Magdalena - Bahía Almejas (1990-2005). En:

Funes-Rodríguez R, Gómez-Gutiérrez J, Palomares-García R (eds) Estudios ecológicos en Bahía Magdalena. CICIMAR-IPN, La Paz, Baja California Sur, México, p 127-141

- Aguirre-Bahena F, Cervantes-Duarte R, Barrera-González F (2002) Variación espacio-temporal de materia particulada suspendida en el complejo lagunar Bahía Magdalena-Almejas, BCS, México. XIII Congr Nal Ocean Puerto Vallarta, México
- Allen JM, Smith GB (1988) Atlas and zoogeography of common fishes in the Bering Sea and Northeastern Pacific. NOAA Tech Rep NMFS.
- Álvarez-Borrego S, Galindo-Bect LA, Chee-Barragán A (1975) Características hidroquímicas de Bahía Magdalena, BCS. Cienc Mar 2:94-110
- Arriaga L, Aguilar V, Alcocer J (2002) Aguas continentales y diversidad biológica de México. CONABIO, Ciudad de México, México
- Aurioles-Gamboa D, Castro-Gonzalez MI, Pérez-Flores R (1994) Annual mass stranding of pelagic red crabs *Pleuroncodes planipes* (Crustacea: Anomura: Galatheidae), in Bahía Magdalena, Baja California Sur, Mexico. Fish Bull US 92:464–470
- Avendaño-Ibarra R, Funes-Rodríguez R, Hinojosa-Medina A, González-Armas R, Aceves-Medina G (2004) Seasonal abundance of fish larvae in a subtropical lagoon in the west coast of the Baja California Peninsula. Estuar Coast Mar Sci 61:125-135
- Blaber SJM (2007) Mangroves and fishes: issues of diversity, dependence, and dogma. Bull Mar Sci 80:457-472
- Bakun A, Nelson CS (1977) Climatology of upwelling related processes off Baja California. Calif Coop Ocean Fish Invest Rep 19:107-127
- Briggs JC (1974) Marine zoogeography. McGraw-Hill, New York, NY
- Brusca RC, Wallerstein BR (1979) Zoogeographic patterns of idotheid isopods in the Northeast Pacific, with a review of shallow water zoogeography of the area. Bull Biol Soc Wash 3:67-105
- Castro-Aguirre JL, Torres-Orozco RT (1993) Consideraciones acerca del origen de la ictiofauna de Bahía Magdalena-Almejas, un sistema lagunar de la costa occidental de Baja California Sur, México. An Esc Nac Cienc Biol IPN 38:67-73
- Cervantes-Duarte R, López-López S, González-Rodríguez E (2007) Características hidrológicas de Bahía Magdalena, BCS. México, en el periodo 2001-2003. CICIMAR Oceánides 22: 1-11.
- Chávez-Rosales S (2006) El papel de los manglares en la producción de las comunidades acuáticas de Bahía Magdalena, BCS. Tesis de Doctorado. Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas, La Paz, Baja California Sur, México
- Durazo R, Baumgartner TR (2002) Evolution of oceanographic conditions off Baja California: 1997-1999. Prog Oceanogr 54:7-31
- Etnoyer P, Canny D, Mate B, Morgan L (2004) Persistent pelagic habitats in the Baja California to Bering Sea (B2B) ecoregion. Oceanogr 17:90-101
- Etnoyer P, Canny D, Mate BR. Morgan LE, Ortega-Ortiz JG., Nichols WJ (2006) Sea-surface temperature gradients across blue whale and sea turtle foraging trajectories off the Baja California peninsula, Mexico. Deep-Sea Res II 53:340-358
- Fischer W, Krupp F, Schneider W, Sommer C, Carpenter KE, Nieds VH (1995) Guía FAO para la identificación de especies para los fines de la pesca I-III. ONU. FAO, Roma
- Funes-Rodríguez R, Hinojosa-Medina A, Avendaño-Ibarra R, Hernández-Rivas ME, Saldierna-Martínez R, Watson W

(2001) Spawning of small pelagic fish in Bahía Magdalena, Baja California Sur, México, at the beginning of the 1997-1998 El Niño event. Estuar Coast Mar Sci 53:653-664

- Gárate-Lizárraga I, Siqueiros-Beltrones DA (1998) Time variation in phytoplankton assemblages in a subtropical lagoon system after the 1982-1983 "El Niño" event (1984 to 1986). Pac Sci 52:79-97
- Gárate–Lizárraga I, Band–Schmidt CJ, Verdugo–Díaz G, Muñetón–Gómez MS, Félix–Pico EF (2007) Dinoflagelados (Dinophyceae) del sistema lagunar Magdalena-Almejas. En: Funes-Rodríguez R, Gómez-Gutiérrez J, Palomares-García R (eds) Estudios ecológicos en Bahía Magdalena. CICIMAR-IPN, La Paz, Baja California Sur, México, p 145-174
- García E (1973) Modificaciones al sistema de clasificación climática de Koppen. Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad de México, México
- García-Escobar H (1993) Análisis del viento frente a Bahía San Hipólito y el área comprendida entre Bahía Magdalena y Cabo San Lucas, B.C.S. en junio y julio de 1989. Invest Mar CICIMAR 8:95-96
- Gómez-Gutiérrez J, Robinson CJ (2006) Tidal current transport of epibenthic swarms of the euphausiid Nyctiphanes simplex in a shallow subtropical bay in Baja California Sur, México. Mar Ecol Prog Ser 320:215-231
- Gómez-Gutiérrez J, Palomares-García R, Gendron D (1995) Community structure of the euphausiids populations along the west coast of Baja California, México during the weak ENSO 1986-87. Mar Ecol Prog Ser 120:41-51
- Gómez-Gutiérrez J, De Silva-Dávila R, Lavaniegos EB (1996) Growth production of the euphausiid Nyctiphanes simplex at the coastal shelf off Magdalena Bay, Baja California Sur, México. Mar Ecol Prog Ser 138:309-314
- Gómez-Gutiérrez J, Palomares-García JR, De Silva-Dávila R, Carballido-Carranza MA, Martínez-López A (1999) Copepod daily egg production and growth rates in Bahía Magdalena, Mexico. J Plankton Res 21:2227-2244
- Gómez-Gutiérrez J, Domínguez-Hernández E, Robinson CJ, Arenas-Fuentes V (2000) Hydroacoustical evidence of autumn-inshore residence of the red crab *Pleuroncodes planipes* in Punta Eugenia, Baja California, Mexico. Mar Ecol Prog Ser 208:283-291
- Gómez-Gutiérrez J, Martínez-Gómez S, Robinson CJ. (2007) Influence of tidal fronts on surface zooplankton aggregation and community structure in a subtropical bay, Bahía Magdalena, Mexico. Mar Ecol Prog Ser 346:109-125
- Guerrero-Caballero R, Cervantes-Duarte R, Jiménez-Illescas AR (1988) Nutrient variations during a tidal cycle at the mouth of a coastal lagoon in the northwest of México. Indian J Mar Sci 17:235-237
- Hernández-Rivas ME, Gómez-Gutiérrez J, Sánchez-Ortíz CA, Saldierna-Martínez RJ, Vera-Alejandre GR (1993) Atlas de temperatura superficial en el complejo lagunar de Bahía Magdalena-Bahía Almejas, Baja California Sur. México. 1980-1989. Secretaria de Marina. Centro Nacional de Datos Oceanográficos de la Secretaría de Marina. Sección Físico-Químico 2:1-87
- Hernández–Carmona G, Serviere–Zaragoza E, Riosmena– Rodríguez R, Sánchez–Rodríguez I (2007) Flora marina del sistema lagunar de Bahía Magdalena-Bahía Almejas. En: Funes-Rodríguez R, Gómez-Gutiérrez J, Palomares-García R (eds) Estudios ecológicos en Bahía Magdalena. CICIMAR-IPN, La Paz, Baja California Sur, México, p 113-126
- Hernández-Trujillo S, Palomares-García RJ, López-Ibarra GA, Esqueda-Escárcega G, Pacheco-Chávez R (2004) Riqueza específica de copépodos en Bahía Magdalena, Baja California Sur, México. Anales Inst Biol UNAM, Ser Zool 75:253-270

- Hickey BM (1979) The California Current System-hypothesis and facts. Prog Oceanog 8:191-279
- Ibarra-Obando SE, Camacho-Ibar V, Carriquiry JD, Smith SV (2001) Upwelling and lagoonal ecosystems of the dry Pacific coast of Baja California, México. En: Seeliger U, Kjerfve B (eds) Coastal marine ecosystems of Latin America, Springer-Verlag, Berlin, Heildelberg, p 315-330
- Lambeck K, Chappell J (2001) Sea level through the last gracial cycle. Science 292:679-686.
- Lankford RR (1977) Coastal lagoons of Mexico. Their origin and classification. En: Wiley ML (ed) Estuaries processes, Volume II: circulation, sediments, and transfer of material in the estuary, Academic Press, New York, p 182-216
- Lluch-Belda D, Hernández-Rivas ME, Saldierna-Martínez R, Guerrero-Caballero R (2000) Variabilidad de la temperatura superficial del mar en Bahía Magdalena, B.C.S. Oceánides 15:1-23
- López-Ibarra GA, Palomares-García R (2006) Estructura de la comunidad de copépodos en Bahía Magdalena, México, durante El Niño 1997-1998. Rev Biol Mar Oceanogr 41(1):63-76
- Lynn RJ, Simpson J (1987) The California Current System: The seasonal variability of its physical characteristics. J Geophys Res 92:12947-12966
- Martínez-Gómez S (2006) Variabilidad circadiana y biomasa del zooplancton asociado a frentes de mareas en Bahía Magdalena, BCS, México. Tesis de Licenciatura, Universidad Autónoma de Baja California Sur, La Paz, BCS, México
- Martínez-Gómez S, Gómez-Gutiérrez J, Robinson CJ (2007) Transporte de las agregaciones de zooplancton asociado a frentes de marea en la boca de Bahía Magdalena. En: Funes-Rodríguez R, Gómez-Gutiérrez J, Palomares-García R (eds) Estudios ecológicos en Bahía Magdalena. CICIMAR-IPN, La Paz, Baja California Sur, México, p 189-203
- McGowan JA. (1971) Oceanic biogeography of the Pacific. En: Funnell BM, Riedel WR (eds) The micropaleontology of ocean. Cambridge University Press, Cambridge, England, p 3-74
- McGowan JA (1986) The biogeography of pelagic ecosystems. En: Pierrot-Bults AC, van der Spoel S, Zahuranec BJ, Johnson RK (eds) Pelagic biogeography. UNESCO Tech Pap Mar Sc 49:191-200
- Moser HG (1996) The early stages of fishes in the California Current region. Calif Coop Fish Invest Atlas 33, Allen Press, Inc, Lawrence, KS
- Norris K, Gentry R (1974) Capture and harnessing of young California gray whales (*Eschrichtius robustus*). Mar Fish Rev 4:58-64
- Obeso-Nieblas M, Gaviño-Rodríguez JH, Jiménez-Illescas AR (1999) Modelación de la marea en el sistema lagunar Bahía Magdalena-Almejas, B.C.S., México. Oceánides 14:79-88
- Ollervides F, Rohrkasse S (2007) Repertorio acústico de la ballena gris (*Eschrichtius robustus*) en Bahía Magdalena. En: Funes-Rodríguez R, Gómez-Gutiérrez J, Palomares-García R (eds) Estudios ecológicos en Bahía Magdalena. CICIMAR-IPN, La Paz, Baja California Sur, México, p 263-274
- Palomares-García RJ, Gómez-Gutiérrez J (1996) Copepod community structure at Bahía Magdalena, México during El Niño 1983-1984. Estuar Coast Shelf Sci 43:583-595
- Palomares-García RJ, Martínez-López A, De Silva-Dávila R, Funes-Rodríguez R, Carballido-Carranza MA, Avendaño-Ibarra R, Hinojosa-Medina A, López-Ibarra GA (2003) Biological effect of El Niño 1997-1998 on a shallow subtropi-

cal ecosystem: Bahía Magdalena, México. Geo Intern 42:455-466

- Robinson CJ, Gómez-Gutiérrez J (2007) Pacific sardine behaviour related to tidal current dynamics in Bahía Magdalena, México. J Fish Biol 71:200-218
- Rodríguez-Mata LM (2006) Estudio a microescala de los nutrientes y variables hidrológicas en Bahía Magdalena, BCS., México. Tesis de Maestría, Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas, La Paz, BCS, México
- ROFOMEX (1983) Resumen de resultados, comentarios y preguntas al estudio de impacto ambiental de la unidad Santo Domingo B.C.S. Rofomex SA de CV, Puerto Adolfo López Mateos BCS (Eco-ingeniería, Reporte de distribución limitada)
- Rosales-Villa AR (2004) Dinámica de nutrimentos en Bahía Magdalena, B.C.S., México. Tesis de Maestría, Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas, La Paz, BCS, México
- Rueda-Fernández S (1983) La precipitación como indicador de la variación climática en la península de Baja California y su relación dendrocronológica. Tesis de Maestría, Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas, La Paz, BCS, México
- Saad NG, Palacios EC (Eds) (2004) Planificación para la Conservación de Sitios: Complejo Lagunar de Bahía Magdalena-Almejas, BCS., México. Pronatura AC. (Noroeste). La Paz, BCS. México
- Sánchez-Montante O (2004) Hidrodinámica y transporte de masa en el sistema lagunar de Bahía Magdalena-Bahía Almejas, Baja California Sur, México: Modelación y experimentación. Tesis de Doctorado, Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas, La Paz, BCS, México
- Sánchez A, Carriquiry JD (2007) Acumulación de C<sub>org</sub>, N<sub>org</sub>, P<sub>org</sub> y BSi en la margen de Magdalena, BCS (México), durante los últimos 26 ka .Cienc Mar 33:23-35
- Sedlock RL (2003) Geology and tectonics of the Baja California peninsula and adjacent areas. Geo Soc Am Spec Pap 374:1-41
- Spencer JE, Normark WR (1979) Tosco-Abreojos fault zone: a neogene transform plate boundary within the Pacific margin of southern Baja California, Mexico. Geology 7:554-557
- Volker K, Nichols WJ, Peckham, De la Toba Victor (2006) Estimates of sea turtle mortality from poaching and bycatch in Bahía Magdalena, Baja California Sur, Mexico. Biol. Conserv 128: 327-334
- Worm B, Barbier EB, Beaumont N, Duffy E, Folke C, Halpern BS, Jackson JBC, Lotze HK, Micheli F, Palumbi SR, Sala E, Selkoe KA, Stachowicz JJ, Watson R (2006) Impacts of biodiversity loss on ocean ecosystem services. Science 314:787-790
- Zárate-Ovando B, Palacios E, Reyes-Bonilla H, Amador E, Saad G (2006) Waterbirds of the lagoon complex Magdalena Bay-Almejas, Baja California Sur, Mexico. Waterbirds 29:350-364
- Zaytsev O, Cervantes-Duarte R, Sánchez-Montante O, Gallegos-García A (2003) Coastal upwelling activity of the Pacific shelf of Baja California peninsula. J Oceanogr 59:489-502
- Zaitsev O, Sánchez-Montante O, Robinson CJ (2007) Características del ambiente hidrofísico de la plataforma continental y zona oceánica adyacente al sistema lagunar Bahía Magdalena-Almejas. En: Funes-Rodríguez R, Gómez-Gutiérrez J, Palomares-García R (eds) Estudios ecológicos en Bahía Magdalena. CICIMAR-IPN, La Paz, Baja California Sur, México, p 29-43

## Sección I

## Oceanografía Física

# Condiciones hidrofísicas en el sistema lagunar Bahía Magdalena-Almejas

Orzo Sánchez–Montante<sup>1</sup>, Oleg Zaitsev<sup>2</sup>, Manuel Saldivar–Reyes<sup>2</sup>

 <sup>1</sup> Centro de Investigación en Ciencia Aplicada y Tecnología Avanzada, Instituto Politécnico Nacional, Altamira, Km 14.5 Carretera Tampico-Puerto de Altamira, Altamira 89600, Tamaulipas
<sup>2</sup> Departamento de Oceanología. Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas, Instituto Politécnico Nacional, Av. IPN s/n. Col Playa Palo de Sta. Rita, AP. 592, La Paz, 23096, Baja California Sur

RESUMEN: Con base en el análisis de los datos oceanográficos (históricos y actuales) de las variables físicas del sistema lagunar Bahía Magdalena-Bahía Almejas (BM-BA) y los resultados de la experimentación numérica obtenidos de un modelo hidrodinámico de circulación costera, se han determinado las condiciones hidrofísicas del sistema lagunar tales como el ciclo térmico anual, las variaciones de la estructura termohalina, el patrón de circulación de marea y de viento, las variaciones de nivel del mar y el balance hidrodinámico. Las distribuciones espaciales de los parámetros termohalinos en el interior del sistema lagunar están asociadas al balance entre los procesos de intercambio de calor y masa en la superficie del mar los efectos del forzamiento hidrodinámico generado a través de las bocas del sistema. Distribución espacial de las propiedades termohalinas fue caracterizada por gradientes horizontales orientadas desde las bocas hacia las regiones someras. Esta distribución tiene una variabilidad estacional modulada por la frecuencia de los eventos de surgencias costeras en la zona oceánica adyacente. Durante eventos de surgencias las aguas subsuperficiales oceánicas, relativamente frías y ricas en nutrientes, se presentan en la vecindad inmediata de la boca de BM, siendo susceptibles de ser transportadas hacia el interior del sistema por la acción de mareas. Este mecanismo acoplado mantiene condiciones más oceánicas en el interior más profundo de BM (hasta 20 m de profundidad). Intensa mezcla vertical en las zonas de máximo gradiente batimétrico (entre 25 y 15 m de profundidad) explican las condiciones físicas uniformes en la vertical en las zonas someras del sistema lagunar. La modelación numérica de la circulación forzada por viento y marea en el sistema lagunar indica que la intensidad de las corrientes dirigidas por viento constante con intensidad de 5 m/s proveniente del Noroeste fue, en promedio, 1 orden de magnitud (ie. 10 veces) menor que la de las corrientes periódicas de la marea en la vecindad de la boca de BM y 1 orden de magnitud mayor que la de las corrientes residuales inducidas por la marea.

PALABRAS CLAVE: Estructura termohalina · Dinámica de mareas · Circulación costera

ABSTRACT: On basis of the analysis of the oceanographic data (historical and current) in the lagoon system Bahía Magdalena-Bahia Almejas (BM-BA) and the results of the numerical experiments with a coastal circulation model, come hidrophysical conditions of the lagoon system has been determined including the annual thermal cycle, the variations of the thermohaline structure, the patterns of tidal and wind circulation, the sea level variations and the hydrodynamic balance. The spatial distributions of the thermohaline variables in the interior of BM-BA depends on the balance between heat- and mass exchange on the sea surface with atmosphere and hydrodynamic forcing through the bay inlets. Surface distributions of temperature and salinity were characterized by horizontal gradients directed from the mouths toward the shallow regions. This distribution has a seasonal variability modulated by the coastal upwelling activity in the adjacent oceanic area. During the upwelling events the subsurface oceanic waters, relatively cold and rich in nutrients, are presented in the immediate vicinity of the mouth of BM, being susceptible to be transported by tidal current toward the interior of the lagoon system. This coupled mechanism maintains oceanic conditions in the deepest part of BM (more than 20 m depth). The active vertical mixing in the areas of maximum topographic gradient (between 25 and 15 m of depth) explains the vertically uniform physical conditions in the shallow areas of the lagoon system. Numeric modeling of the wind y tidal circulation in the lagoon system indicates that the mean intensity of the currents derived by constant wind with intensity of 5 m/s, coming from the Northwest, was about of 1 order of magnitude (10 times) smaller than the maximum intensity of tidal currents of the tide in the vicinity of the BM mouth, and about of 1 order of magnitude greater than the mean intensity of the residual currents induced by the tide.

KEY WORDS: Thermohaline structure  $\cdot$  Tidal dynamics  $\cdot$  Coastal circulation

#### INTRODUCCIÓN

El sistema lagunar Bahía Magdalena-Bahía Almejas (BM-BA) es uno de los ecosistemas costeros mexicanos, que resulta ser de considerable importancia para el desarrollo socioeconómico regional (Mathews 1975), no sólo por su considerable extensión (aprox. 1100 km²) sino también por la alta productividad que prevalece durante la mayor parte del ciclo anual (Nienhuis & Guerrero 1985, Gárate-Lizárraga & Siqueiros-Beltrones 1998). El carácter semicerrado y el escaso aporte de aguas continentales o descargas pluviales que caracterizan al sistema lagunar costero BM-BA, hacen de este sistema una región propia para el análisis de las condiciones hidrofísicas que son moduladas dinámicamente por el viento y la marea sin el aporte de circulaciones gravitacionales estuarinas. Las propiedades fisicoquímicas y ecológicas de los cuerpos de agua con características similares, dependen fundamentalmente de la dinámica de la marea, que determina en buena medida el balance hidrodinámico entre el sistema lagunar y la zona oceánica adyacente (Contreras & Casillas 1992).

Debido a la importancia que tienen los procesos de mezcla y transporte en la distribución de; el material disuelto o en suspensión, la concentración de nutrientes, poblaciones de larvas, parches de fitoplancton entre otros, es fundamental el análisis de la circulación y las condiciones hidrofísicas asociadas a este, en el interior del sistema lagunar BM-BA. La estimación cuantitativa del intercambio de masa, entre los diferentes cuerpos del sistema y los efectos que ejerce la marea en la circulación hidrodinámica y la estructura termohalina en el interior del sistema lagunar, aportan la base física del conocimiento que se requiere para entender las posibles interacciones entre los organismos y el ambiente donde se desarrollan.

El sistema lagunar BM-BA se divide en tres zonas diferenciadas de acuerdo con sus condiciones morfológicas: Zona de Canales (ZC), Zona Central, denominada específicamente BM y zona sudeste, que recibe el nombre de BA. Al Noroeste, se comunican BM y ZC a través del Canal de San Carlos (~5 km de ancho, 12 m de profundidad), en la parte central, BM con BA a través del Canal de Gaviotas (~2.5 km de ancho y 15 m de profundidad) y en el Sudeste BA comunica con el mar abierto a través de Canal de Rehúsa (~2.3 km de ancho, <5 m de profundidad). La Fig. 1 muestra las características de la batimetría (sin incluir la región ZC). Las profundidades máximas de 40 y 27 m conforman las depresiones máximas del fondo lagunar de BM y BA respectivamente.

**Estado del arte.** Actualmente existen pocos estudios sobre las condiciones hidrofísicas e hidrodinámicas de está región.

1. Alvarez-Borrego et al. (1975), describen las condiciones hidrológicas intra-estacionales observadas en la superficie del sistema lagunar con base a 4 campañas de medición con una duración menor a 4 días entre octubre 1973 y agosto 1974. Los autores observaron que los valores máximos de temperatura y salinidad se hallan en las regiones más someras del sistema, por lo que los gradientes



Fig.1 Batimetría generada a partir de la interpolación numérica de los datos de profundidad reportados en una carta regional de navegación (NAVY 1971)

termohalinos concuerdan con la batimetría de la región. En general, sus datos muestran que en el sistema lagunar se encuentra una situación antiestuarina, esto es que la salinidad en el interior del sistema es mayor respecto de la que se presenta en el mar abierto, debido esencialmente a la alta evaporación y a la ausencia de aportes de agua dulce por escurrimientos y precipitación.

- 2. Acosta-Ruiz & Lara-Lara (1978), por su parte llevaron a cabo un muestreo puntual en las proximidades de la boca BM durante la primavera de 1976, reportando que la variabilidad de las condiciones hidrológicas en un perfil vertical fue modulada por la dinámica de las mareas. Estos autores señalan la presencia de las máximas concentraciones de nutrientes durante la fase del flujo de marea y las mínimas durante el reflujo. Con base en estos resultados el sistema BM-BA se caracteriza como un cuerpo de agua acumulador de nutrientes (fosfatos, nitratos y silicatos) del cual resulta la generación de una alta actividad fotosintética además de elevados niveles de oxígeno disuelto.
- Hernández-Rivas et al. (1993) generalizaron los datos sobre la temperatura superficial en el interior del complejo lagunar para el periodo 1981-1989, presentando un atlas de temperaturas mensuales.
- 4. Obeso et al. (1999) realizaron una simulación de la circulación de marea utilizando un modelo numérico barotrópico de diferencias finitas basado en las ecuaciones hidrodinámicas integradas en la vertical.
- 5. Lluch-Belda et al. (2000) analizaron la variabilidad espacial y temporal de la temperatura superficial en el interior del sistema lagunar a partir de las mediciones realizadas con un termómetro invertido obtenidas durante los periodos 1981-1988 y 1997-1998, en los que se incluyeron un gran número de datos publicados con anterioridad. Los autores señalaron que el sistema lagunar tiene un ciclo anual de la temperatura superficial bien definido, con el rango de hasta 7° C entre los valores mínimo y máximo alcanzados en Marzo y Septiembre respectivamente. La variación más intensa se presenta durante el calentamiento de verano, entre Junio y Julio. En promedio, el sistema lagunar tiene una temperatura de aproximadamente 1° C mayor a la del exterior, con una diferencia máxima de hasta 4º C durante el mes de Julio. Los autores incluyeron también una descripción del escenario térmico que prevaleció durante el evento climático de El Niño de 1998.
- 6. Sánchez-Montante (2004) presentó en su tesis doctoral una caracterización de la variabilidad estacional e intermareal de la estructura termohalina en el complejo lagunar BM-BA, como resultado de un estudio integral de experimentación en campo y modelación numérica. La experimentación en campo consistió en el análisis de datos obtenidos en 5 diferentes campañas de mediciones de la condiciones termohalinas y de la variabilidad de las corrientes en las bocas y canales del sistema lagunar. La modelación numérica consistió en la integración de los resultados

obtenidos de la experimentación en campo para la configuración calibrada de un modelo hidrodinámico costero tridimensional. Los resultados obtenidos de este análisis constituyen la mayor parte del presente capitulo.

7. Morales et al. (2006) describen la circulación y el transporte pasivo de partículas en las inmediaciones del sistema lagunar BM-BA mediante un modelo hidrodinámico forzado por mareas, viento y una aproximación del efecto de la Corriente de California. Se realizaron dos experimentos principales, uno enfocado a detectar zonas de retención en el interior del sistema lagunar, y el segundo para observar el intercambio de partículas entre el sistema y el océano abierto adyacente. Se encontró que las partículas sembradas en el sistema tienden a quedarse dentro y concentrarse en regiones particulares que se correspondieron con la distribución real de bancos pesqueros de recursos bentónicos y, en segundo término, que durante condiciones poco comunes de viento se pueden presentar intrusiones importantes de partículas de la plataforma continental al interior del sistema lagunar.

Una de las características hidrográficas más sobresalientes de estos estudios es la distribución de las condiciones físico-químicas que prevalecen en la región profunda de BM cerca de la boca, la cuál está caracterizada por una alta concentración de nutrientes y valores relativamente bajos de temperatura, salinidad, concentración de oxígeno disuelto y pH en esta región (Alvarez-Borrego et al. 1975, Sánchez-Montante 2004). Dichas condiciones prevalecen localmente durante la mayor parte del año y son consideradas semejantes a las que se presentan durante los fenómenos de surgencias costeras en aguas oceánicas. De hecho, la región del mar abierto advacente al sistema BM-BA está caracterizada como una zona típica de surgencias costeras, por lo que se infiere que la acción del flujo de marea funciona como mecanismo de transporte de las condiciones de surgencias hacia el interior de BM-BA (Zaitsev et al. mismo libro).

Diversos estudios (Nienhus & Guerrero 1985, Gárate-Lizárraga & Sequeiros-Beltrones 1998) asocian estas condiciones físico-químicas a la alta productividad primaria, que a su vez sustentan la industria pesquera más importante de la entidad (Casas-Valdez 1987). Así mismo, la elevada tasa de productividad primaria en el interior de BM permite una exportación de altas concentraciones de fitoplancton a la región oceánica adyacente durante la fase de reflujo (Acosta-Ruiz & Lara-Lara 1978).

Los estudios anteriores, aunque bastante fragmentarios, han logrado distinguir diferentes condiciones físicoquímicas superficiales en el interior de BM-BA. Con base en estas se ha zonificado este sistema lagunar: BM se identifica por su considerable interacción dinámica con el mar abierto a través de la boca, lo que le confiere características más oceánicas en comparación con BA y ZC, donde los procesos hidrodinámicos (corrientes y mezcla), son limitados por la topografía somera.

### METODOLOGÍA DE LOS ESTUDIOS

El presente trabajo esta basado en los datos hidrofísicos, obtenidos por la participación del Departamento de Oceanología del CICIMAR-IPN en una serie de proyectos de investigación realizados en el periodo 2000-2004.

Mediciones directas en el campo

Se realizaron 5 campañas de mediciones oceanográficas durante los años 2000-2003. En cada campaña se realizaron lances verticales de CTD (marca "InterOcean" S4 CTD y "Seabird" 19 Plus) en una red de estaciones, además del anclajes de 1 a 3 correntímetros "InterOcean" S4 y sondeos acústicos de las corrientes con un ADCP ("Sontek" de 0.5 MHz) en las bocas y los principales canales del sistema. La cantidad de estaciones de medición por instrumento que fue considerada en cada campaña oceanográfica se enlistan en la Tabla 1.

#### Parámetros termohalinos

La localización de las estaciones en que se realizaron las mediciones con CTD se muestra en la Fig. 2. En las primeras 2 campañas, Abr00 y Feb01, se realizó un muestreo cubriendo BM y BA (Figs. 2a y 2b). Debido a la baja variabilidad espacial observada en los resultados obtenidos en BA, durante las primeras 2 campañas, se decidió continuar únicamente con el muestreo en BM (Fig. 3c).

Los perfiles verticales de temperatura y salinidad se promediaron verticalmente en capas de 1 metro de profundidad. Con base en estos perfiles promediados se generaron las distribuciones espaciales (horizontales y verticales) de los parámetros termohalinos (temperatura, salinidad y densidad).

El promedio mensual de la TSM fue calculado a partir de la secuencia de las imágenes AVHRR, que corresponden a la costa occidental de Baja California, en el periodo desde enero de 1996 hasta el diciembre del 2001. La base de datos del promedio mensual de la TSM para las imágenes fue generada en el laboratorio de Oceanografía Física del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología (ICMyL) de la Universidad Autónoma de México (UNAM). Posteriormente esta base de datos de imágenes de satélite fue segmentada en el laboratorio SIG (Sistemas de Información Geográfica) del CICIMAR para el análisis de variabilidad térmica en el sistema lagunar BM-BA y su región oceánica adyacente (Martínez-Flores et al. 2000). Finalmente la matrices de datos de TSM (195×240, longitud/latitud) que tienen una



Fig. 2. Localización de las estaciones de muestreo (puntos negros) en las campañas de (a) Abr00, (b) Feb01 y (c) Nov01

Tabla 1. Número de estaciones realizadas en cada campaña oceanográfica

Campaña	CTD	Correntímetros	ADCP	Embarcaciones
Abr00	42	3	5 (boca)	1 panga
(Abril 4-7 2000)				
Feb01	49	3	5 (boca)	2 pangas
(Febrero 4-7 2001)				
Nov01		3	5 (boca)	2 pangas
(Febrero 13-16 2001)	5			
May02		3	3 (boca)	2 pangas
(Mayo21-23 2002)	1			
Mar03		1	14 series	B/O"El Puma" y 1 panga
(Marzo 19-23 2003)	0			


Fig. 3. Localización de los anclajes de correntímetros que fueron colocados durante las campañas de muestreo de 2000-2003 con duración menor a 4 días (indicado con el símblolo: +) y de más de 30 días (indicados con el símbloo: ×), en los canales de interconexión y las bocas del sistema lagunar BM-BA: Canal San Carlos (a), boca BM (b), Canal Gaviotas (c) y boca BA (d)

resolución espacial de 1.1 km al nadir fueron georeferenciadas con un mapa de la región. Para validar los promedios mensuales generados a partir de las imágenes de satélite se realizó una comparación con los datos mensuales de la TSM obtenidos por mediciones directas con un termómetro invertido (Hernández-Rivas et al. 1993), y publicados por Lluch-Belda et al. (2000).

#### Corrientes

Los correntímetros se anclaron en la capa del fondo (Fig. 3). En algunos de estos anclajes los correntímetros fueron equipados con sensores de temperatura y conductividad. Adicionalmente, en las campañas, May02 y Mar03 se mantuvo anclado un correntímetro en la boca de BM durante un periodo mayor de 30 días (Fig. 3b). La frecuencia de muestreo utilizada en los anclajes de estos correntímetros fue de 1 dato cada 5 minutos. Las técnicas de análisis utilizadas para la caracterización de la marea fueron la descomposición de las series de tiempo en armónicos, elipses de marea, descomposición espectral y estimación de la excursión de la marea. A partir de las series de tiempo largas en las campañas de May02 y Mar03 en la boca BM fue posible caracterizar en términos promedio las fases de cuadratura (marea muerta) y de sicigia (marea viva) del forzamiento de marea. En el marzo del 2003 se midieron las corrientes en un transecto a través de la boca de BM con un perfilador acústico "Sontek" 0.5 MGz instalado a bordo del B/P "El Puma".

A partir de la experimentación en campo realizada en el sistema lagunar BM-BA y la serie de proyectos desarrollados por el grupo de Oceanología del CICIMAR-IPN durante los años 2000-2003, se determinó:

- a) Una caracterización dinámica de la marea (elevación de la superficie del mar y corrientes asociadas).
- b) Los campos medios e instantáneos de los parámetros termohalinos y su variabilidad espacio-temporal.
- c) El ciclo anual de la TSM en el sistema lagunar BM-BA.
- d) El forzamiento oceánico, estimando las características del intercambio de agua entre el sistema lagunar y la región oceánica adyacente con base en los datos de las mediciones de corrientes en la boca principal del sistema lagunar.
- e) El balance hidrodinámico, descrito en términos del prisma de marea y tiempos de residencia del agua dentro del BM-BA.

#### Experimentación numérica

En este estudio se utilizó un modelo hidrodinámico tridimensional de circulación costera ECOM (de las siglas en inglés: Estuarine Costal Ocean Model) desarrollado inicialmente en la Universidad de Princeton y el grupo Dynalisis de Princeton bajo el nombre de POM (Princeton Ocean Model) (Blumberg & Mellor 1987). Este modelo resuelve en diferencias finitas el sistema completo de las ecuaciones hidrodinámicas en una malla computacional de coordenadas curvilíneas ortogonales.

La experimentación numérica consistió en la simulación independiente de la circulación forzada por marea y viento. La circulación de marea fue analizada a partir de la simulación numérica considerando las amplitudes de las componentes principales de marea que fueron obtenidas de la descomposición armónica de las series de tiempo de las variaciones del nivel del mar que fueron registradas en BM mediante campañas de medición. Por su parte, la circulación generada por viento fue analizada con base en los datos de viento sinóptico obtenidos por satélites de QuikSCAT, también se analizó la respuesta dinámica del sistema lagunar al viento medio prevaleciente sobre la región de estudio.

El dominio numérico abarca la región interior del sistema lagunar BM-BA, con fronteras abiertas en las bocas del sistema. La malla computacional resultante generada en coordenadas curvilíneas ortogonales corresponde a una matriz de 64×19 celdas, de las cuales 580 son celdas efectivas para la simulación de la circulación (Fig. 4). La resolución espacial de esta malla varío de 0.88 a 4.95 km en la dirección paralela a la línea de costa y de 0.28 a 2.54 km en la dirección perpendicular. El valor de la profundidad de cada celda de la malla fue obtenido de la interpolación de los datos de la batimetría ETOPO 2 completados por los datos digitalizados de una carta de navegación

Cada celda está descrita por 11 niveles en las coordenadas s a lo largo del dominio numérico, permitiendo una resolución vertical de 0.27 m en las regiones más someras a 3.18 m en las más profundas. Para cumplir la condición de estabilidad computacional de Courant-Friedrichs-Levy se eligió por simplicidad un paso de tiempo  $\Delta t = 1s$  (Blumberg & Mellor 1983).

Las condiciones iniciales de las simulaciones fueron las del estado de reposo y campo de masa homogéneo. Los valores utilizados en estas distribuciones fueron 18° C y 34 psu, para la temperatura y la salinidad, respectivamente. La condición de frontera lateral en la costa fue representada como frontera sólida cerrada, en la que no existen flujos normales advectivos ni difusivos de ninguna variable. Las bocas del sistema, boca BM y boca BA, fueron representadas como fronteras líquidas abiertas en las que se especificó el forzamiento de marea, asignando una amplitud y fase inicial a cada componente de marea astronómica, mientras que la elevación de la superficie libre se expresa como condición de radiación en la dirección normal a la frontera. La descripción detallada de la aplicación del modelo se encuentra en (Sánchez-Montante 2004).

A partir de la experimentación numérica se evaluaron:

- a) La respuesta de las variaciones de la superficie libre del nivel del mar y de la circulación en el interior del sistema lagunar a los forzamientos de marea, viento y batimetría.
- b) La propagación de la marea en el interior del sistema lagunar.
- c) La interacción dinámica entre los diferentes elementos del sistema con base en el análisis de corrientes y flujos transversales en los canales de interconexión.



Fig. 4. Malla computacional diseñada para la modelación numérica de la circulación tridimensional del sistema lagunar BM-BA en coordenadas curvilíneas ortogonales

#### RESULTADOS

#### Caracterización del régimen de mareas

Las tablas de predicción de mareas (UNAM 1985) mencionan que el régimen de mareas en la zona de BM-BA (Puerto San Carlos) es mixto semidiurno. Los valores estadísticos de la marea indican que el nivel de la pleamar media superior es de 0.83 m y la pleamar máxima registrada es cerca de 1.5 m. La amplitud de cada una de las componentes armónicas principales se enlista en la Tabla 2.

Los resultados procesados del anclaje de correntímetro instalado con mayor duración temporal en la boca BM en el periodo de 19 de Marzo a 8 de Mayo del 2003 se muestran en la Fig. 5. El gráfico (5a) muestra la serie de tiempo del promedio horario de las variaciones del nivel del mar registradas en este anclaje. El rango de la amplitud registrado varió de 0.70 m durante la marea muerta (en el 10 de abril del 2003) a 2.30 m para la marea

Tabla 2. Comparación de las amplitudes de las componentes armónicas principales resueltas de la descomposición armónica de los datos de un mareógrafo histórico que fue ubicado en Canal San Carlos BCS, (112.12°O, 24.79°N), durante el periodo Enero 1974-Diciembre 1976 (UNAM 1985) y de la serie de datos de la variación de la presión en 53 días obtenidos en la boca de BM durante la campaña Mar03

Componente armónica		Periodo	Amplitud	Amplitud	Varianza
de la marea		[Hrs]	SnCarlos	Boca BM	Explicada
			[m]	[m]	Boca BM
Principal Lunar	$M_2$	12.42	0.55	0.48	36%
Principal Solar	$S_2$	12	0.32	0.34	25%
Lunar-Solar Declinacio	23.94	0.27	0.21	16%	
Lunar Declinacional	$O_1$	25.82	0.16	0.17	12%
Lunar Elíptica	$N_2$	12.66	0.11	0.13	10%
_	Rango		2.82	2.66	

viva (en el 18 de abril del 2003). El rango de la amplitud durante la marea viva fue de esta manera 3.29 veces el de la marea muerta. El espectro energético de las variaciones del nivel del mar (Fig. 5c) muestra los picos de máxima densidad espectral en las frecuencias correspondientes a la marea diurna (K1, O1) y semidiurna (M2, S2). Las amplitudes de las componentes armónicas principales de las variaciones del nivel del mar fueron calculadas utilizando los



Fig. 5. Mediciones del correntímetro anclado en la boca BM, durante el periodo del 19 Marzo al 8 de Mayo del 2003, en el que se incluye: (a) la serie de tiempo de los promedios horarios de la elevación del nivel del mar (h); (b) la serie de tiempo de la corriente de marea (v) representada en la forma de diagrama de astillas; (c) el espectro de potencias de la serie de tiempo de h con un intervalo de confianza del 95% (indicado con la barra vertical) donde DEE es la densidad espectral; (d) la elipse de marea referida a un sistema de coordenadas cartesiano ortogonal; (e) el espectro de potencias de las intensidades de corrientes (v) con un intervalo de confianza del 95%

programas de análisis de mareas T\_TIDES (Pawlowicz et al. 2002). Las amplitudes de las componentes que fueron resueltas durante el periodo de muestreo se presentan en la Tabla 2 en comparación con los datos obtenidos en el puerto San Carlos.

La relación entre las componentes principales diurnas y las semidiurnas de la marea fue estimada como F =  $(K_1 + O_1)/(M_2 + S_2) = 0.45$ , de donde resulta que 0.25 < F < 1.5. Por lo que de acuerdo con el criterio de Bowden (1983), la marea sobre esta región es de carácter mixta con mayor influencia de las componentes semidiurnas. El espectro energético de variaciones de nivel del mar (Fig. 5c) muestra que el grupo de armónicas semidiurnas tiene amplitudes mayores que las del grupo de armónicas diurnas.

La Fig. 5b muestra la serie de tiempo de las corrientes registradas en la boca BM, a 0.4 m encima del fondo. Las intensidades máximas se presentaron durante las fases de flujo y reflujo de la marea, cuando la tangente a la curva de la amplitud de marea fue máxima, velocidades mínimas se presentan durante los instantes de la marea parada. Las intensidades máximas de las corrientes en el promedio horario fueron de 0.46 m/s en la marea viva y de 0.18 m/s en la marea muerta, de tal manera que las corrientes fueron 2.5 veces más intensas durante la marea corrientes de marea durante el tiempo de muestreo está representada con la elipse de marea (Fig. 5d). El eje mayor está orientado casi perpendicular a la longitud transversal de la boca. La excentricidad de la elipse es de 0.05, indicando un comportamiento regresivo de las corrientes a través de la boca.

#### Anclajes de correntímetros en los canales del sistema BM-BA

Las series de tiempo de las variaciones del nivel del mar y las corrientes medidas en las campañas de Abr00, Feb01, Nov01 y May02 se muestran en la Fig.6. Desafortunadamente, los resultados de los anclajes instalados a 0.4 m por encima del fondo marino en los canales relativamente someros de interconexión (Canal San Carlos y Canal Gaviotas) no siempre representan la intensidad y dirección media de las corrientes en toda la columna del agua. Esto es debido a un efecto de la topografía local en el punto de la instalación del anclaje. Particularmente, los equipos colocados en Feb01 y May02 (Figs. 6b y 6d) en la boca de BM a una distancia de menos que 0.5 km de la punta ubicada al noroeste de la boca, no presentaron valores medios de las corrientes en toda la sección de la boca. En general, la evolución temporal de



Fig. 6. Series de tiempo del nivel del mar h(t) (en línea continua), y de los vectores de las corrientes v(t) (en flechas), del promedio horario de los datos obtenidos de los anclajes colocados en las regiones indicadas en cada una de las campañas de medición: (a) Abr00, (b) Feb01, (c) Nov01 y (d) May02

las corrientes sobre el Canal San Carlos, Canal de Gaviotas y en la boca BA presenta una mayor simetría bidireccional, entre las fases de flujo y reflujo que en la de las corrientes sobre la boca BM. Esta diferencia esta relacionado con los efectos topográficos: la boca de BM es ancha y profunda, mientras que todos los canales son angostos y someros.

La varianza tanto de la intensidad como de las direcciones de las corrientes, a lo largo de un ciclo de marea, se representa por las elipses de marea (Fig. 7). La orientación de las elipses de marea en el Canal San Carlos en Abr00 y Feb01 (Figs. 7a y 7b) esta relacionada con la curvatura del canal de navegación donde fueron colocados los equipos. Las corrientes en este canal fueron estrictamente bidireccionales. La orientación de las elipses en la boca de BM en Feb01 y May02 (Figs. 7b y 7d) caracteriza las corrientes cerca de la punta noroccidental de la boca de BM. Las corrientes en el Canal Gaviotas y en la boca de BA fueron prácticamente bidireccionales.

A partir del graficado de los datos de la temperatura y la salinidad que fueron obtenidos en algunos de los anclajes de correntimetros en los canales del sistema lagunar se muestra la modulación de las variaciones de estos parámetros con las de la marea (Fig. 8). En general se observa que las variaciones diarias de la temperatura en las capas del fondo presentan buena correlación con las de la marea en diferentes épocas del año y en los distintos canales del sistema lagunar. Ambos parámetros termohalinos se incrementaron durante el reflujo de la marea y disminuyeron durante el flujo. El incremento se asocia a un transporte durante el reflujo de aguas más cálidas y más salobres desde las zonas someras, más alejadas de la boca de BM, mientras que las condiciones de flujo de marea explican el decremento en las variables termohalinas. Este patrón de variación intermareal fue menos evidente en la boca de BM donde además se observan variaciones de alta frecuencia probablemente asociadas al forzamiento del viento y el oleaje.

#### Variabilidad de la TSM

#### Escala estacional

A partir de la base de datos del promedio mensual de la temperatura superfical media (TSM) de los años 1996-2001, inferida a partir de las imágenes AVHRR, se analizó



Fig. 7. Elipses de las corrientes de marea referidas a las posiciones de anclaje de los correntímetros realizados en las campañas de muestreo: (a) Abr00, (b) Feb01, (c) Nov01 y (d) May02, en el interior del sistema BM-BA. Los ejes horizontal y vertical están referidos a la magnitud de escala indicada en (c)



Fig. 8. Series de tiempo de los datos del nivel del mar, en línea punteada, de la temperatura (T), en línea continua con marcadores de punto, y de la salinidad (S), en línea con marcadores de circulo, obtenidos durante los anclajes instalados a la profundidad indicada en cada caso, durante las campañas de (a) Abr00 en Canal san Carlos, (b) Nov01 en la boca BM y (c) May02 en Canal Gaviotas

la variabilidad espacial y temporal de la región de estudio distinguiendo entre el interior del sistema lagunar y la región oceánica adyacente (Fig. 9). Esta última fue considerada en este estudio como aquella que se encuentra limitada por la isobata de 500 m de profundidad y que se extiende perpendicularmente desde la costa de la región de estudio a aproximadamente 50 km hacia mar abierto, abarcando aproximadamente los 600 km<sup>2</sup>.

Los campos promedio mensuales de la TSM-AVHRR en el interior del sistema lagunar BM-BA respecto del valor mensual promedio, están caracterizados, durante el periodo primavera-verano, por un gradiente orientado de noroeste a sudeste en el periodo de primavera-verano, cuando se presenta la actividad de surgencias costeras (Fig. 10), mientras que el resto del año el campo es más uniforme.

Estos resultados coinciden con los obtenidos en el análisis de las mediciones *in situ* de temperatura (Fig. 14). La resolución de las imágenes AVHRR permitió generar la distribución espacial de la TSM en BA, la cual no pudo ser resuelta a partir de las mediciones directas.

La distribución de TSM en BA está caracterizada por un gradiente orientado desde los canales de la bahía, la boca y Canal Gaviotas, hacia la zona de canales. Durante los meses de diciembre a febrero, se presentaron anomalías negativas correspondientes a aguas más frías en el interior del sistema lagunar con respecto al exterior. En general, los gradientes en ambas bahías, fueron más intensos durante la primavera y el verano debido al marcado contraste que presentan las condiciones locales de las aguas someras y las profundas, las cuales están asociadas a los efectos del incremento de la irradiación solar en la parte somera y la renovación del agua a través de la boca en las regiones profundas. Particularmente, las anomalías negativas de la región noroeste de BM, que se presentaron como una característica aislada de la influencia de aguas oceánicas a través de la boca BM, concuerdan con lo reportado por Alvarez-Borrego et al. (1978), quien asemejó esta característica con las condiciones de surgencias.

#### Escala interanual

Con referencia a una subdivisión regional del sistema lagunar BM-BA y la región oceánica adyacente, la Fig. 11 muestra la serie de tiempo de las anomalías de la TSM respecto del ciclo medio del interior del complejo lagunar BM-BA en su totalidad Las anomalías positivas corresponden a TSM mayores que las observadas en el ciclo anual y viceversa para las anomalías negativas. En el periodo de los 6 años de estudio (1996-2001) se



Fig. 10. Secuencia bimestral de las distribuciones espaciales de la TSM en el interior del sistema lagunar BM-BA. Datos obtenidos de las imágenes AVHRR-NOAA durante el periodo 1996-2001





Fig. 11. Variabilidad interanual de las anomalías de la TSM (°C) promedio espacial en el interior del BM-BA durante el periodo 1996-2001 calculadas respecto a promedio mensual durante este periodo

distinguen 2 periodos, los cuales están caracterizados por anomalías predominantemente de un mismo signo: positivas en los años 1997-1998 y negativas en los años 1999-2001.

Las anomalías positivas fueron más intensas en el periodo de julio a septiembre del 1997 (hasta 4.4 °C), mientras que las máximas anomalías negativas lo fueron en agosto y septiembre del 1999 (hasta -3.5 °C). Estos 2 periodos están asociados con los fenómenos climatológicos de El Niño 1997-98 y su contraparte La Niña 1999-2000. El efecto de estos fenómenos de gran escala en el régimen térmico de la región de estudio consiste en condiciones de surgencia de menor intensidad acompañado de calentamientos más intensos durante el evento de El Niño y condiciones inversas durante el evento de La Niña.

## Estructura termohalina en el interior de BM-BA

A partir de los registros de los perfiles de CTD mostradas en la Fig.12 se describió la estratificación térmica en el sistema lagunar BM-BA. Los perfiles verticales de temperatura obtenidos en diferentes puntos del interior del sistema lagunar BM-BA indican que la estructura termohalina en la mayor parte del interior del sistema lagunar (con profundidades menores a 15 m) corresponde a una zona bien mezclada en la vertical.



Fig. 12. Distribución vertical de la temperatura en el interior de la BM-BA en Abr00 y Feb01: (b) perfiles realizados en la parte somera de BM y (c) perfiles realizados en la BA. Las zonas correspondientes están marcadas en el grafico (a)

No obstante, se encontraron gradientes verticales de temperatura en las proximidades de la boca de BM (Fig. 13). Esta estratificación estuvo caracterizada por una termoclina la cual varió en profundidad de 5-10 m, en abril del 2000 y febrero del 2001, hasta 20-30 m en noviembre del 2001.

Las distribuciones superficiales de la temperatura y de la salinidad, generadas a partir del tratamiento de los perfiles de CTD obtenidos durante 3 salidas al campo, indican la existencia de un patrón común (Fig. 14). Estas distribuciones estuvieron orientadas desde la boca hacia la cabeza en BM. Los valores mínimos de ambas variables se localizaron en una vecindad cercana a la boca de BM. Estas características particulares de la distribución superficial son indicativas de un evidente forzamiento oceánico en las condiciones hidrológicas del interior de BM. El gradiente espacial fue más intenso durante el periodo de primavera (Fig. 14a) en el que se presentan los eventos de surgencia en la región oceánica adyacente.

La distribución vertical de las propiedades termohalinas a lo largo de una sección perpendicular a la boca de BM



Fig. 13. Perfiles verticales de la temperatura en las estaciones de muestreo que se localizan en la boca y parte profunda de la BM (a) en las campañas de medición: Abr00, Nov01 y Feb01 (b)

se muestra para la campaña de Abr00 (Fig. 15). Las condiciones de surgencia encontradas en esta figura fueron caracterizadas por un afloramiento hacia la costa de las aguas con las características de temperatura entre 14 y 15° C y salinidades entre 34.0 y 34.2. Las aguas con éstas características se encontraron en la superficie de la boca, y también en la profundidad de 20 m a 10 km de la boca. En el contexto de la caracterización de las condiciones de surgencia durante esta campaña, fue interesante observar la presencia de las aguas frías y de más alta salinidad en la capa del fondo en el interior de BM.

#### Intercambio hidrodinámico entre los elementos del sistema lagunar BM-BA

Un proceso importante que afecta a toda la hidrodinámica del complejo lagunar es el forzamiento oceánico por marea a través de las bocas que puede ser representado por el volumen total de agua que atraviesa una sección transversal durante cada flujo o reflujo de la marea.

En términos geométricos, el volumen anteriormente referido es expresado como el prisma de marea, y el tiempo promedio necesario para llenar todo el volumen de la bahía, es estimado como el tiempo de residencia. Ambos cálculos fueron realizados para las fases de marea muerta y marea viva en cada una de las bocas del sistema lagunar. Los resultados correspondientes para BA se obtuvieron bajo la suposición de que los rangos de mareas en la boca de BM y la de BA son iguales. Esta suposición se realizó únicamente con el propósito de tener una estimación aproximada de los parámetros geométricos de transporte mostrados en esta sección.

El volumen de prisma de mareas,  $Q_{p'}$  se cálculo de acuerdo con la relación:

$$Q_p = AR$$
,

donde A es el área superficial total del cuerpo de agua y R el rango de la marea. Este cálculo se realizo bajo 2 supuestos: el que el agua que entra al sistema durante el flujo de marea (tiempo de llenado) se mezcla completamente con el agua contenida en el interior, y que el volumen aumentado de la marea no se distribuye sobre las pendientes suaves de las playas en las costas. Por su parte, el tiempo de residencia se cálculo en términos geométricos de acuerdo con la relación:

$$\tau_{g} = \frac{Q_{tot}}{Q_{p}}$$

donde  $Q_{tot}$  es el volumen total del cuerpo del agua calculado con el nivel medio. Los resultados obtenidos se enlistan en la Tabla 3.

Estos valores indican que el volumen de prisma de marea en BM es 1.63 veces mayor que el de BA. Una diferencia de 1 ciclo de marea en el tiempo de residencia se encontró durante la marea viva y de 9 ciclos durante



Fig. 14. Distribución superficial de la temperatura del mar (TSM) y la salinidad superficial del mar (SSM) en BM generadas a partir de los datos de CTD obtenidos en las campañas realizadas en (a) Abr00, (b) Feb01 y (c) Nov01

la marea muerta. El prisma de marea durante la fase mareal de sicigia resultó aproximadamente 5.7 veces el de la fase mareal de cuadratura en ambas bahías, con una diferencia de 24 ciclos de marea entre el tiempo de residencia durante la marea viva y muerta, en BM y 16 en BA.El intercambio de masa entre 2 cuerpos de agua interconectados entre si, se analizó con base en la estimación del transporte instantáneo de volumen de agua (el gasto) que atraviesa una sección transversal del canal de interconexión, usando los resultados de las mediciones de corrientes de una sección a través de la boca de BM. El gasto instantáneo al momento t, Q(t), a través de la sección S de la boca se calculó, de acuerdo con la relación:

$$Q(t) = \int_{S} v(\alpha) d\alpha$$
,

donde  $v(\alpha)$  es la componente normal de la intensidad de la corriente en un elemento de área d $\alpha$  de una sección transversal.

A partir de las mediciones obtenidas con el uso del ADCP a lo largo de la boca BM durante la campaña Mar03, se calcularon para cada fase de la marea las componentes de los vectores de la velocidad de corriente, normales a la sección transversal a la boca. La distribución horizontal de las corrientes normales a la sección transversal de la boca BM, integradas en la vertical, que corresponde a un instante de las fases del máximo flujo y



Fig. 15. Distribución vertical de temperatura (b) y salinidad (c) a lo largo de la sección transversal a la boca de BM que se muestra en el panel superior (a). La sección está orientada de izquierda a derecha desde la plataforma continental hacia el interior de Bahía Magdalena. Los datos fueron obtenidos durante la campaña de medición Abr00

Tabla 3. Los valores del prisma de marea (Q<sub>p</sub>) y el tiempo de residencia (t<sub>g</sub>,) que fueron calculados a partir de los parámetros geométricos del volumen medio (Q<sub>m</sub>), el volumen aumentado con el arribo de la marea (Q<sub>a</sub>) y el rango R de la marea en la fase de marea muerta y marea viva para BM y BA

Región	Fase lunar de marea	R [m]	A [km <sup>2</sup> ]	Q <sub>p</sub> [km <sup>3</sup> ]	Q <sub>tot</sub> -Q <sub>a</sub> [km <sup>3</sup> ]	Rango de marea [m ]	$ au_g$ [ciclos de marea]
BM	Marea	23	565	1 30	6.80-8.10	23	~ 6
DIVI	Marea	2.0	505	1.00	6.80-7.03	2.0	~ 0
	muerta	0.4	565	0.23		1.0	≈ 30
D۸	Marea	<b>1</b> 2	240	0.00	2.80-3.60	2.4	E
DA	Marea	2.3	540	0.00	2.80-2.94	2.4	ຂູ່ງ
	muerta	0.4	348	0.14		1.9	≈ 21

reflujo de la marea se muestra en la Figura (16). En esta se muestra la uniformidad horizontal, en el promedio vertical, de las corrientes que atraviesan esta sección transversal durante los máximos de marea. Esto es, no existen o al menos no predominan las corrientes contrarias de fondo y los procesos de turbulencia en los extremos de la boca no son lo suficientemente intensos como para afectar considerablemente la dirección de las corrientes de marea. El ciclo de marea en que fueron muestreados estos perfiles (Fig. 16c) corresponden a la fase decreciente de la marea semilunar en la fase de marea muerta.

Las distribuciones promedios en la vertical del flujo instantáneo de volumen (gasto) a través de la boca BM, durante un instante de las fases de flujo y reflujo se muestran en las Figuras 17a y 17b, mientras que la estructuras vertical correspondiente durante estos instantes de la marea se muestran en las Figuras 17c y 17d. En estas figuras se observa que el gasto o transporte instantáneo de volumen en la dirección normal a la boca BM se presenta con mayor intensidad de manera uniforme en la profundidad alrededor de 10 m y a través de una zona (o núcleo) que se localiza entre 4.5 y 5 km de la punta SE de la boca.

El transporte neto de volumen  $Q_v$  durante un periodo de marea T, generado por las corrientes que fluyen a través de una sección transversal puede calcularse de acuerdo con la relación:



Fig. 16. Distribución de las componentes normales de los vectores de corriente a lo largo de la boca BM durante la fase de (a) flujo y (b) reflujo de la marea. Se muestra la condición de la marea (c)



Fig. 17. Distribución del transporte de volumen transversal a la boca (gasto), integrado en la vertical (panel superior) y su distribución vertical (panel inferior), a lo largo de una sección longitudinal a la boca de BM, en los instantes de marea de las fases de flujo (a, c) y reflujo (b, d), indicados en la Figura (17c)

$$Q_V = \frac{1}{T} \int_0^T Q(t) dt.$$

Y suponiendo una mezcla completa del sistema, el tiempo de residencia  $\tau_{dyn}$  para cada cuerpo de agua se puede calcular en términos dinámicos, de acuerdo con Monsen (2001), como:

$$\tau_{dyn} = \frac{Q_{tot}}{Q_V}$$

donde  $Q_{tot}$  fue definido anteriormente. Los resultados obtenidos durante algunos instantes del ciclo de marea no pueden representar un valor promedio del flujo durante el ciclo lunar completo, pero dieron una estimación del orden de magnitud del transporte instantáneo de volumen y de su distribución horizontal y vertical, así como también de la distribución de temperatura superficial a lo largo de una sección transversal a la boca BM.

#### Circulación hidrodinámica: experimentación numérica

El objetivo de esta sección es la de mostrar el patrón típico de la circulación en el interior del sistema lagunar BM-BA asociada a los diferentes forzamientos dinámicos: viento y marea, a partir de la implementación del modelo numérico de circulación costera ECOM. Los detalles de la implementación y calibración del modelo considerando las diferentes constituyentes armónicas de la marea, así como los experimentos numéricos sobre la estabilidad de la circulación en relación con las variaciones de la batimetría y las condiciones de fondo se encuentran descritos en Sánchez-Montante (2004).

#### Circulación forzada por la marea

Para determinar el patrón de circulación forzada por la marea en el interior del sistema BM-BA se realizaron experimentos numéricos considerando un forzamiento simultáneo en las bocas del sistema resultante de la superposición de las cuatro  $(M_2, S_2, K_1 \gamma O_1)$  componentes armónicas principales de la marea en la boca de BM (Tabla 2). Las distribuciones espaciales del promedio horario de la elevación del nivel mar y de las corrientes, integradas en la vertical, se generaron a partir de los resultados obtenidos de la simulación numérica.

La Figura 18 muestra una secuencia de escenarios instantáneos de las variaciones del nivel del mar en superposición al campo de corrientes integrado en la vertical. Los instantes de la marea mostrados son los de flujo máximo (Fig. 18a) y el reflujo máximo (Fig. 18b) en la fase de marea viva. La máxima intensidad del promedio horario de las corrientes (hasta 0.5 m/s) se encuentran en la zona profunda de BM (cerca de la boca). Las intensidades en el rango de 0.3 hasta 0.4 m/s se encuentran en el Canal Gaviotas y en la vecindad de la boca de BA. Es interesante notar que en el Canal Gaviotas durante el flujo de marea las corrientes se dirigen de BM hacia BA, mientras que durante del reflujo de marea las corrientes tienen la dirección contraria, esto es de BA hacia BM.



Fig. 18. Distribuciones espaciales de la elevación del nivel mar (h; en tonos de colores) y de las corrientes de marea integradas en la vertical (en flechas) en el interior del sistema lagunar BM-BA, durante los instantes de (a) el flujo máximo y (b) el reflujo máximo en la fase de marea viva. El instante de la marea registrado en el centro de la boca BM se indica en el gráfico superior. Los datos fueron obtenidos de las simulaciones numéricas durante 20 días considerando un forzamiento simultáneo de la marea en las bocas con las amplitudes de las componentes principales de la marea indicadas en la Tabla 1

Durante la fase de flujo máximo de la marea (Fig. 18a) se presentó una pendiente del nivel del mar desde las bocas del sistema hacia el interior de cada bahía. La pendiente observada en BM es mas suave (< 0.30 m) que la que se presenta en BA (> 0.40 m). La inclinación de ésta pendiente se invirtió durante los instantes de reflujo (Fig. 18b). Como resultado de ésta diferencia, se generó una pendiente en el nivel del mar a lo largo del Canal Gaviotas, desde BM hacia BA durante la fase de flujo y viceversa durante la de reflujo. Una diferencia de hasta 0.20 m se presentó entre los extremos SE en BM y NW en BA de este canal. Esta misma situación se presentó a lo largo del Canal San Carlos, donde se generó una pendiente negativa del nivel del mar desde BM hacia la



Fig. 19. Distribuciones espacial de la elevación del nivel mar (h; en tonos de colores) y de las corrientes de marea integradas en la vertical (en flechas) en el interior del sistema lagunar BM-BA, durante los instantes de (a) el flujo máximo y (b) el reflujo máximo en la fase de marea muerta. El instante de la marea registrado en el centro de la boca BM se indica en el grafico superior. Los datos fueron obtenidos de las simulaciones numéricas durante 20 días considerando un forzamiento simultáneo de la marea en las bocas con las amplitudes de las componentes principales de la marea indicadas en la Tabla 1

zona de canales, durante las fases de flujo, y positiva durante las de reflujo. Estos efectos están relacionados con un retraso de la onda de marea. Es interesante notar que el nivel del mar en BA depende del intercambio hidrodinámico a través del Canal Gaviotas (más ancho y profundo) que el que se presenta a través de la boca sur (somera y angosta).

A manera de comparación entre la circulación de marea en las fases de marea viva y marea muerta, presentamos los escenarios instantáneos del nivel del mar superpuesto al campo vectorial de corrientes en los instantes del flujo máximo y del reflujo máximo en la fase de marea muerta (Fig. 19). Evidentemente el patrón de circulación es semejante al que resulta en la marea viva, pero las intensidades de las corrientes son 3 veces menores. La distribución del nivel del mar tiene un comportamiento similar al de la marea viva pero las diferencias resultantes a través de los canales son menores.

-0.8

#### Circulación forzada por el viento

La serie de tiempo del promedio mensual del viento superficial prevaleciente, durante el periodo 1998-2002, en el punto geográfico más cercano a la costa de la boca BM en la base de datos de Quikscat (a 120 km de la boca), indica un régimen de viento que prevalece con la dirección del noroeste y una intensidad máxima promedio de 5 m/s (Fig. 20).

Los resultados del experimento numérico realizado para analizar la circulación generada por el forzamiento del viento permanente del noroeste con la intensidad de 5 m/s se presentan en la Fig. 21. La simulación fue realizada a 5 días utilizando un tiempo de ajuste numérico de 1 día. El análisis de estos resultados muestra que el proceso del desarrollo de la circulación estacionaria en el interior de BM-BA tiene dos estados: un estado de transición y uno estacionario. El estado de transición se observa en las 2 primeras horas del forzamiento de viento. En este periodo se desarrolla un apilamiento de agua hacia el SE de cada cuerpo del sistema lagunar (Fig. 20a). De tal manera, que el nivel del mar conforma una pendiente que se incrementa hacia el SE de cada bahía. Debido al reducido ancho del Canal Gaviotas, se produce una constricción del flujo a través del canal, de tal manera que se obtiene una pendiente del nivel del mar de BM a BA, la cual será eventualmente nivelada por la ocurrencia de corrientes restitutivas en profundidad. En este estado de transición las intensidades máximas de corrientes en el Canal Gaviotas alcanzaron 0.02-0.03 m/s induciendo un transporte de agua de BM hacia BA a través de este canal a una razón aproximada de 5 000 m<sup>3</sup>/s.

La diferencia de niveles en BM y BA es compensado por un transporte de agua que se desarrolla través del Canal Gaviotas, estableciendo el estado estacionario de la circulación de viento (Fig. 21b). El nivel del mar asociado a este estado mantiene una inclinación del nivel del mar, con alturas mayores en la costa sureste de BA, y alturas menores en la costa noroeste de BM, de donde proviene el viento. Una diferencia neta de 0.04 m se encontró en la altura del nivel del mar entre los extremos NW y SE del sistema lagunar. En términos generales, la circulación integrada en la vertical, se caracterizó por una circulación rotatoria en el sentido anticiclónico en cada una de las bahías. Esta rotación esta asociada a la dirección de las corrientes restitutivas relacionadas al apilamiento de agua que se generan en las secciones profundas de cada bahía.

Las corrientes máximas se alcanzaron en la región somera de BM 0.06-0.07 m/s, esto es aproximadamente 10 veces menor que la intensidad máxima de las corrientes de marea en la región de la boca de BM durante la fase de marea viva.



Fig. 20. Análisis de la serie de tiempo del viento sobre la superficie del (mar promedio mensual), en el punto geográfico, localizado a 120 km de la costa, durante el periodo Enero 1998-Diciembre 2002. a) diagrama de astillas del vector de velocidad, b) intensidad del vector de velocidad y c) magnitud de las componentes norte-sur (N-S) y este-oeste (E-O) del vector de velocidad



Fig. 21. Distribuciones espaciales de la elevación del nivel mar (h; en tonos de colores) y de las corrientes integradas en la vertical (en flechas), en el interior del sistema lagunar BM-BA, dirigidas por un viento de intensidad constante (5 m/s) proveniente del NO durante los instantes del estado de transición (a) y del estado estacionario (b). En el subpanel superior derecho se grafica la inclinación del nivel del mar entre los extremos NO y SE del sistema lagunar en cada instante. Los datos fueron obtenidos de las simulaciones numéricas durante 5 días considerando un forzamiento simultáneo y homogéneo del rotacional del viento en cada celda del dominio numérico

#### Circulación residual inducida por la marea (CRIM)

Un efecto hidrodinámico secundario en la circulación de marea es la rectificación de las corrientes generadas por este forzamiento, la circulación resultante es nombrada en la literatura como corrientes residuales inducidas por la marea. La circulación constituida por estas corrientes es considerada como un mecanismo de transporte no oscilatorio de largo plazo (Oonishi 1977, Zimmerman 1981).

Propiamente la CRIM en el sentido Euleriano es la que está asociada al efecto de rectificación de las corrientes de marea de uno o un número entero de periodos de marea. Dicha velocidad residual Euleriana inducida por la marea  $v_{rim}^{e}$ , se calculó en esta investigación como el promedio de la velocidad de corriente instantánea  $\overline{v(t)}$ , en un número determinado de ciclos de marea que ocupan un periodo de tiempo  $T_m$ . Es decir:

$$\mathbf{v}^{\mathbf{e}}_{rim} \equiv \overline{\mathbf{v}(\mathbf{t})} = \frac{1}{T_m} \int_{t}^{t+T_m} \mathbf{v}(t') dt',$$

donde la barra por encima de la variable indica en este caso el promedio temporal. La CRIM Euleriana para el sistema lagunar BM-BA fue calculada de esta manera a partir de los resultados de la simulación numérica considerando por simplicidad y orden de importancia únicamente el forzamiento de la componente armónica de la marea M<sub>2</sub> (Fig. 22). La circulación resultante, integrada en la vertical, está caracterizada por una estructura dipolar de circulaciones rotatorias del tipo ciclón-anticiclón que aparecieron alineados longitudinalmente en el interior de BM. El patrón espacial de la CRIM generada es invariante a la frecuencia del forzamiento de marea (Sánchez-Montante, 2004). La circulación ciclónica se localizó en la región noroeste de BM, mientras que la circulación anticiclónica en la región centro-oriental. La escala espacial de ambos giros es de aproximadamente 12 km de diámetro cada uno. La superposición de ambas circulaciones rotatorias tiene asociada una corriente de chorro perpendicularmente a la boca BM y dirigida hacia el interior del centro de la bahía. No obstante, la intensidad máxima de las corrientes residuales inducidas por la  $M_2$  fue de 0.01 m/s, esto es 2 órdenes de magnitud menor que intensidad máxima de la circulación de marea y 1 orden de magnitud menor que la circulación generada por el viento. En los canales del sistema lagunar las intensidades de las corrientes generadas por la rectificación de marea y por el viento son comparables entre si. Mientras que en BA no se observa ninguna estructura particular en la circulación residual a la escala de visualización de la estructura espacial observada en BM.

En la literatura se encuentra ampliamente documentado, que la naturaleza de la CRIM está modulada por los efectos batimétricos además de la interacción no lineal de las corrientes con ellas mismas. Un análisis de sensibilidad en los experimentos numéricos al suavizado de las irregularidades batimétricas sugiere que la distribución obtenida para la CRIM en el sistema lagunar BM-BA no es mayormente modulada por la batimetría del fondo: la forma de línea costera y, posiblemente, otros mecanismos de la interacción no lineal juegan un papel importante (Sánchez-Montante 2004).



Fig. 22. Distribución espacial de las corrientes residuales que resultan de la rectificación de la circulación forzada con la componente armónica de la marea M<sub>2</sub>. Los datos fueron obtenidos de las simulaciones numéricas de 5 días considerando un forzamiento simultáneo de la marea en las bocas con la amplitud de 0.5 m/s en la componente semidiurna M<sub>2</sub> de la marea

La Fig.23 muestra que el resultado obtenido de la CRIM integrada en la vertical es un resultado de la suma parcial de las CRIMs mostradas por diferentes capas en la vertical. Este conjunto de las circulaciones por capas no muestra en ningún caso los giros descritos en la CRIM integrada en la vertical, de tal manera que está última caracterización es un resultado promedio que en síntesis describe las corrientes residuales. Particularmente en la sección noroeste de la boca de BM la estructura vertical de la CRIM resulta en un influjo de aquas superficiales que una vez en el interior del sistema describe una línea de corriente hacia la región noreste de BM. El agua superficial en está última región continua como flujos dirigidos hacia la costa este con un consecuente flujo paralelo a esta línea de costa hacia la zona sureste de la bahía, tal como puede inferirse en las secciones transversales de la CRIM mostradas en la Fig. 24. La magnitud de las velocidades verticales obtenidas en cada capa vertical son 1 orden de magnitud menor que las horizontales.

#### **DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES**

El régimen de marea en el sistema lagunar se caracterizó de carácter mixta y principalmente semidiurna. Las componentes armónicas semidirurnas  $M_{2'}$  $S_2$  y  $N_2$  constituyeron aproximadamente el 71% de la varianza de la marea mientras que las diurnas  $K_1$  y  $O_1$  constituyeron un 28% adicional. La mayor amplitud registrada corresponde a la componente semidiurna lunar  $M_{2'}$  de periodo 12.42 hrs, con la que se explica el 36% de la varianza.

Con base en un registro de marea con duración de 1.5 ciclos lunares en la boca BM, se obtuvo que el rango de la marea viva (de 2.60 m) en promedio fue 3.3 veces mayor que el rango de la marea muerta. La intensidad promedio de las corrientes durante la marea viva (0.45-0.47 m/s en flujo-reflujo) fue 2.5 veces mayor que las corrientes de marea muerta. La intensidad instantánea de las corrientes en la boca de BM durante las fases máximas del flujo y reflujo de la marea alcanzan valores mayores que 1.2 m/s. Las intensidades promedio de las corrientes en los canales de interconexión del sistema (Canal Gaviotas y Canal San Carlos) son de 0.3 m/ s con fluctuaciones de hasta 0.15 m/s.



Fig. 23. Distribución espacial de las corrientes residuales horizontales (representada en vectores) y verticales (en contornos de colores) en algunos niveles en coordenadas sigma (de las 11 niveles), que resultan de la rectificación de la circulación generada con la componente  $M_2$ . El color rojo representa las surgencias del agua, el color azul corresponde a los hundimientos del agua



Fig. 24. Distribución espacial de los componentes de la CRIM calculada para M2 en las secciones transversales orientadas (a) a lo largo de la longitud de BM y (b) perpendicularmente a la longitud de la BM. En el gráfico (a) la componente perpendicular a la sección se representa en flechas y la componente paralela en tonos de color. En el gráfico (b) la componente paralela a la sección se representa en flechas y la componente perpendicular en tonos de color. Los datos se obtuvieron de la rectificación de la circulación generada con la componente M<sub>2</sub>

#### Estructura termohalina

Las mediciones del campo termohalino indican condiciones prácticamente uniformes en la vertical de la mayor parte del sistema lagunar. Por lo que la distribución superficial de los parámetros termohalinos en muchos casos es suficiente para caracterizar las propiedades hidrológicas promedio en toda la columna de agua pero principalmente en las zonas con profundidades menores que 20 m. Las regiones de mayor uniformidad de los parámetros termohalinos indican la dominancia local de los procesos de mezcla vertical. No obstante, la descripción de la estructura termohalina en las bocas y canales debe de considerar las estratificaciones que se desarrollan en su vecindad. La variación de la temperatura y salinidad en estas regiones, se encontró modulada principalmente por la variación de la marea, en un rango de 2 °C y 1 psu en los canales de interconexión y 4 °C y 0.2 psu en la boca de BM. El incremento de estos parámetros termohalinos se registró durante el reflujo de la marea asociando a este resultado un transporte de aguas más cálidas y más salobres desde las zonas someras más alejadas de las bocas. Las condiciones del flujo de marea fueron análogamente asociadas a un transporte de aguas con menor temperatura y salinidad desde las bocas hacia el interior del sistema. Este modo de variabilidad induce una variación intermareal oscilatoria de la densidad.

La variabilidad de la distribución de los parámetros termohalinos (Fig. 14), está modulada por las variaciones al balance sostenido entre los procesos locales de la interacción térmica de la superficie interior del sistema lagunar con la atmósfera regional (calentamiento y evaporación) y del intercambio de agua con la región oceánica adyacente a través de las bocas. De tal forma, los gradientes espaciales de las distribuciones de estos parámetros están orientados de las bocas y canales hacia las regiones someras del sistema. En comparación con las condiciones térmohalinas potenciales del exterior del sistema es de esperarse que en términos medios prevalezcan aguas de mayor densidad en el interior, debido a la generación de aguas más salobres en asociación con una alta evaporación en las regiones someras.

Teniendo en consideración los resultados anteriores, es notable observar que la localización de la característica mas sobresaliente en la hidrografía de BM, relativa a las condiciones superficiales de alta concentración de nutrientes y valores relativamente bajos de temperatura, salinidad, concentración de oxigeno disuelto y pH (Álvarez-Borrego et al. 1975), coincide con la región del sistema lagunar donde se presentan los máximos gradientes batimétricos (Fig. 1). Esta característica fue identificada en los datos de la investigación aquí reportada en la forma de parches de aguas superficiales de temperatura mínima, localizados en la parte noroeste de BM y ligeramente aisladas de la boca. Cabe mencionar que estas condiciones identificadas previamente como típicas de eventos de surgencias no estuvieron relacionadas con ningún ascenso de las isolíneas de los parámetros termohalinos en esta zona, de tal forma que el proceso hidrodinámico de generación asociado no es precisamente eventos de surgencias. En su lugar se especula a partir de las observaciones señaladas en esta investigación que debido a las pendientes más abruptas de la batimetría, las corrientes de marea generan un proceso intenso de mezcla en la vertical, resultando en condiciones superficiales más oceánicas que las del alrededor.

sistema BM-BA tiene un ciclo anual bien definido (Fig. 9a), alcanzando el valor mínimo de 17.2º C en abril y el máximo de 25.8º C en agosto. Mediante la comparación del régimen térmico entre el interior y el exterior del sistema lagunar (Fig. 9b) se encontró que las aguas del interior del sistema tienen menor temperatura que las del exterior durante el periodo de noviembre a febrero y más cálidas durante el resto del año. Los meses de marzo y abril fueron identificados, como los períodos donde prevalecen las menores TSM. El análisis de las distribuciones de TSM (Fig.10) muestra que la respuesta de los cuerpos que componen del sistema lagunar a las condiciones en la región adyacente (incluyendo los eventos de surgencias costeras) indica una marcada influencia en la región profunda de BM, y en las inmediaciones de la boca, en tanto que esta influencia es mínima en las regiones someras de BM y nula en BA.

de 1996-2001 se encontró que la TSM en el interior del

La variabilidad interanual de la TSM analizada en el periodo 1996-2001 indicó 2 periodos distintos de variación, con duración de 2 años cada uno. Ambos periodos fueron identificados por un cambio de régimen climático de condiciones cálidas (anomalías positivas) a un clima frío (anomalías negativas), el cual se registró al término de la ocurrencia de las condiciones asociadas al fenómeno de El Niño 1997-98 (Lynn et al. 1998). Las condiciones de la TSM que prevalecieron en la región de estudio durante este fenómeno climático correspondieron a un sobrecalentamiento de las aguas en el interior del BM-BA. En el periodo 1999-2000 durante el fenómeno de La Niña se identificaron las anomalías de TSM negativas, asociadas con la intensificación de los vientos del noroeste el transporte correspondiente de aguas frías de la zona subártica y la intensificación de los eventos de surgencia costera (Schwing et al. 2000).

#### Intercambio de agua

El volumen total de agua que fluye a través de las bocas del sistema durante una fase de flujo o reflujo de la marea, fue evaluado con base en términos geométricos mediante el método del prisma de marea, obteniendo un valor de 1.30 a 0.23 km<sup>3</sup> para la boca de BM y de 0.80 a 0.14 km<sup>3</sup> para la boca de BA durante las fases de marea viva y muerta, respectivamente. El tiempo de residencia, se calculó como un indicador de la renovación del agua considerando tanto en términos geométricos (prisma de mareas) como dinámicos (de mediciones de las corrientes en las bocas y canales). El tiempo de residencia estimado varió de 6 a 30 ciclos de marea y 5 a 21 ciclos de marea durante la variación de la fase de marea viva a muerta en BM y BA respectivamente.

#### Variabilidad estacional e interanual de la TSM

Con base en el análisis de los promedios mensuales de TSM-AVHRR en la región de estudio durante el periodo

#### Distribución de la circulación

Los resultados de los experimentos numéricos realizados con el modelo hidrodinámico ECOM indicaron que la circulación en el interior del sistema estuvo principalmente modulada por el forzamiento de la marea a través de la boca de BM. El forzamiento de marea impuesto en la boca de BA resultó rápidamente amortiguado por la escasa profundidad, menor que 10 m, sobre la que se propaga. De aquí que la contribución de este forzamiento a la circulación de BA es relativamente menor que la asociada al forzamiento de marea generado a través del Canal Gaviotas. La circulación de marea que resultó de la simulación numérica está caracterizada por un campo gradiente de la elevación del nivel del mar que varia en magnitud conforme la topografía local y en dirección conforme la geometría de las bahías y los canales de interconexión. Particularmente, se encontró una diferencia de nivel de 0.2 m entre los extremos noroeste y sureste del Canal Gaviotas durante de los máximos de la fase de flujo y reflujo de marea en marea viva (Fig. 18). Las intensidades de las corrientes de marea durante la fase de marea viva alcanzaron, en términos medios por hora, los 0.6 m/s en las inmediaciones de la boca BM, con un rango de variación de 0.6 m/s en mientras que el Canal Gaviotas el valor medio encontrado en las simulaciones fue de 0.3 m/s con un rango de variación de 0.5 m/s.

Debido al comportamiento regresivo de las corrientes de marea, el sistema lagunar mostró conservar aproximadamente un balance hidrodinámico durante cada ciclo de marea. De tal manera que las contribuciones al transporte de masa deben quedar determinadas por mecanismos energéticos de carácter estacionario. El viento sinóptico actúa sobre la región de estudio como un forzamiento estacionario con un valor de intensidad promedio 5 m/s y una dirección prevaleciente del noroeste, según los resultados estadísticos obtenidos con la base de datos en el periodo 1998-2003. La modelación numérica de la circulación generada por un viento constante de estas características en el interior del sistema lagunar mostró una distribución comúnmente obtenida en sistemas cerrados, la cual se compone de corrientes superficiales con la dirección aproximadamente paralela a la del viento, generando un apilamiento de agua en el borde del sistema a sotavento, que a su vez induce una corriente restitutiva en profundidad con la dirección contraria a la del viento. La intensidad de las corrientes dirigidas por un viento constante de 5 m/s dirigido hacia el sureste fue, en el promedio en la vertical, de 1 orden de magnitud (10 veces) menor que las corrientes periódicas de la marea. En el caso de un viento esporádico extremo con la intensidad de 15 m/s, las corrientes resultantes alcanzan 1/3 de las intensidades máximas promedio generadas por la marea viva.

El otro mecanismo de transporte que ha sido estudiado en el sistema lagunar BM-BA es a circulación residual, como resultante del efecto de rectificación de mareas. La intensidad de las corrientes residuales fue 10 veces menor que las corrientes dirigidas por un viento de intensidad 5 m/s. Esta circulación se caracterizó por la existencia de un par de giros en el interior de BM que se obtuvo en la representación vertical integrada de la circulación. La localización de los giros, el ciclónico localizado al noroeste de la boca BM y el anticiclónico en la parte sureste de la bahía, sugieren la ocurrencia de un efecto de reclutamiento de material disuelto o suspendido hacia el interior del giro ciclónico. La estructura vertical de las corrientes residuales en BM muestra la tendencia del transporte a largo plazo asociado al efecto de la rectificación de la circulación de marea. Los resultados encontrados para esta estructura vertical indican que las aguas subsuperficiales que se encuentran en las inmediaciones de la boca BM son susceptibles de ser transportadas por las corrientes residuales hacia el interior de la bahía en profundidad con dirección hacia la región de localización del giro ciclónico, esta aguas que muy probablemente se mezclarán verticalmente por forzamiento batimétrico o del viento serán redistribuidas en superficie hacia la región sureste de la bahía. La inferencia de este resultado es acorde con la característica mas sobresaliente de la hidrografía de BM que ha sido citada con anterioridad.

#### Perspectivas de investigación

Aún cuando hallan sido completados los planes de experimentación en campo y con la modelación numérica, cuyos resultados han sido resumidos en este texto, existen una gran cantidad de detalles acerca de la hidrodinámica del sistema lagunar BM-BA que deben de ser atendidos con detenimiento. Una parte fundamental de los resultados esperados en los estudios hidrodinámicos, con los que se puedan soportar las conclusiones obtenidas en otros campos de la investigación, son los que se refieren al transporte neto de material diluido o en suspensión. Estos resultados son determinados por construcción a partir de la caracterización cualitativa y cuantitativa del sistema de circulación.

Como fue mencionado en este texto, los componentes de la circulación que son determinantes para la estimación del transporte de material marino en la región de estudio, son la dinámica de mareas, la del viento y en principio la dinámica gravitacional, asociada a los gradientes de densidad, además de las componentes residuales de la circulación de marea. En la investigación aquí reportada ha sido dejado a parte la circulación gravitacional, debido a la suposición de que esta no debiera de contribuir sustancialmente a la circulación del sistema lagunar dado el hecho de que las aportaciones de descargas pluviales son prácticamente nulas. No obstante, se ha señalado que la circulación de marea en su carácter regresivo aproximadamente se encuentra en equilibrio hidrodinámico dando lugar a los procesos energéticos secundarios a contribuir en el transporte de material marino a largo plazo. Por lo que los estudios enfocados en la cuantificación de la hidrodinámica de los procesos no considerados en este reporte son también necesarios para la caracterización de las condiciones hidrodinámicas de la región de estudio.

En cuanto a la incertidumbre del conocimiento actualmente adquirido sobre la hidrodinámica del sistema lagunar BM-BA, debemos reconocer que los datos cuantitativos y la información cualitativa que aquí se

reporta no deja de ser un conjunto de resultados parciales susceptibles de una validación exhaustiva que debiera de realizarse con la planeación de un monitoreo constante, y permanente en la medida de lo posible, de las condiciones hidrodinámicas del sistema lagunar. Así por ejemplo, esta exhortación a un monitoreo mas detallado de la región de estudio demanda desde la instalación de instrumentación básica de medición, como mareógrafo(s) y estaciones autónomas meteorológicas, su optimización y mantenimiento, y hasta el monitoreo costero regular en una red con equipos oceanográficos tales como CTD y correntímetros con el fin de obtener una caracterización precisa de las condiciones hidrodinámicas del sistema que a su vez pueda ser utilizada en la calibración óptima de modelos hidrodinámicos validados y flexibles al acoplamiento de módulos de procesos hidroquímicos, geológicos, ecológicos, etc.

Finalmente para completar la información oceanográfica sobre el sistema lagunar BM-BA resta mencionar los tópicos de investigación que a raíz de los resultados reportados en este texto se plantean que deben de ser abordados como continuación de la investigación hidrodinámica. Entre estos se encuentran:

- 1. La cuantificación de mezcla turbulenta vertical en la zona.
- 2. La respuesta de las condiciones hidrodinámicas a las variaciones en las condiciones atmosféricas locales.
- La cuantificación del intercambio de agua en los canales de interconexión y del balance hidrodinámico del sistema lagunar.
- 4. La estructura vertical detallada de las corrientes de marea en las bocas y canales.
- 5. El campo de deriva Lagrangiana de partículas sólidas o liquidas en condiciones reales.
- La validación experimental de la circulación residual inducida por la marea mediante los flotadores de deriva y/o colorantes.

Como parte de la perspectiva de investigación en el sistema lagunar BM-BA se debe de hacer reconocimiento a los trabajos recientemente publicados por Morales et al. (2006) y Gómez-Gutierrez & Robinson (2006) cuyas aportaciones han mostrado una iniciativa de investigación interdisciplinaria entre los campos de la oceanografía química, física y biológica de la región de estudio.

*Agradecimientos.* Al apoyo otorgado para la realización de los proyectos de SIP del Instituto Politécnico Nacional (No. 20-01, 20331396, 20040172), sobre los estudios experimentales en el sistema lagunar BM-BA que fueron realizados en los años 2000-2004. A la beca de CONACYT otorgada para O. Sánchez Montante y al apoyo del SNI para O. Zaitsev.

#### LITERATURA CITADA

- Acosta-Ruiz J, Lara-Lara J (1978) Resultados fisicoquímicos en un estudio de variación diurna en el área central de Bahía Magdalena, BCS. Cienc Mar 5:37-45
- Alvarez-Borrego S, Galindo-Bect LA, Barragán AC (1975)

Características hidroquímicas de Bahía Magdalena, BCS. Cienc Mar 2:94-109

- Blumberg AF, Mellor GL (1983) Diagnostic and prognostic numerical circulation studies of the South Atlantic Bight. J Geophys Res 88:4597-4592
- Blumberg AF, Mellor GL (1987) A Description of three-dimensional Coastal Ocean Circulation Model. Publ by Amer Geophys Un
- Bowden KF (1983) Physical Oceanography of Coastal Waters. En: Ellis Horwood series in marine sciences. Ed John Wiley & Sons, NJ
- Casas-Valdez MM (1987) Distribución en tiempo y espacio de las especies de sardina y macarela en Bahía Magdalena. Inv Mar CICIMAR 3:11-30
- Contreras EF, Casillas JR (1992) Importancia del intercambio mareal en lagunas costeras. Univers Cienc 9:22-27
- Garate-Lizárraga L, Siqueiros-Beltrones DA (1998) Time variation of phytoplankton Assamblages in a subtropical Lagoon System after the 1982-83 El Niño Event. Pacif Sci 52:79-97
- Guerrero GR, Cervantes-Duarte R, Jiménez-Illescas A (1988) Nutrient variation during a tidal cycle at the mouth of a coastal lagoon in the northwest of México. Indian J Mar Sci 17:235-237
- Gómez-Gutiérrez J, Robinson CJ (2006) Tidal current transport of epibenthic swarms of the euphausiid *Nyctiphanes simplex* in a shallow, subtropical bay on Baja California Peninsula, México. Mar Ecol Prog Ser 320:215–231
- Hernández-Rivas M, Gómez-Gutierrez J, Sánchez-Ortiz C, Saldierna-Martínez R, Vera Alejandre G (1993) Atlas de temperatura superficial en el complejo lagunar Bahía Magdalena-Almejas, Baja California Sur, México, 1980-1989. En: Secretaria de Marina, Atlas Oceanogr Nac Secc Físico-Químicos V2
- Lankford RR (1977) Estuarine Processes, Circulation, Sediments and Transfer of Material in the Estuary. En: Coastal lagoons of Mexico: Their origin and classification. Wiley, ME Academ Press Inc NY:182-215
- Lluch-Belda D, Hernández-Rivas M, Saldierna-Martínez R, Guerrero-Caballero R (2000) Variabilidad de la Temperatura Superficial del mar en Bahía Magdalena. Oceánides, 15:1-23
- Lynn RJ, TM Baumgartner, Garcia J, Collins A, Hayward R, Hyrenbach KD, Mantyla W, Murphree T, Shankle A, Schwing FB, Sakuna KM, Tegner ME (1998) The State of the California Current in 1997-98. Calif Coop Oceanic Fish Invest Rep 39:25-50 Mathews CP (1975) El desarrollo de la zona Bahía Magdalena. Un panorama socioeconómico en una región en pleno desarrollo. Cienc Mar 2(1):47-49
- Martínez-Flores G, Zaytsev O, Salinas-González F, Gallegos A (2000). Segmentación de Temperatura Superficial del Mar por Crecimiento de Regiones en Imágenes NOAA-AVHRR, Proc 2do Congr Intern Comp México, DF: 336-344
- Monsen N (2001) A study of sub-tidal transport in Suisun Bay and the Sacramento-San Joaquin Delta, California. PhD thesis, Stanford Univ
- Morales-Zárate MV, Aretxabaleta AL, Werner FE, Lluch-Cota SE (2006) Modelación de la circulación invernal y la retención de partículas en el sistema lagunar Bahía Magdalena-Almejas (Baja California Sur, México). Cienc Mar 32:631–647
- NAVY (1971) Map of the Bahía Magdalena (No.21121). Defence Mapping Agency Hidrografic/Topografic Center, Washington, DC
- Nienhuis GH, Guerrero R (1985) A quantitative analysis of annual phytoplankton cycle of the Magdalena lagoon complex (Mexico). J Plankt Res 7:427-441
- Obeso-Nieblas M, Gaviño-Rodriguez JH, Jiménez-Illescas A

(1999) Modelación de la marea en el sistema lagunar Bahía Magdalena- Almejas, BCS., México. Oceánides 4: 79-98

Oonoshi Y (1977). A numerical study on the tidal residual flow. J. Oceanol. Soc. Jpn. 33: 207-218

- Sánchez-Montante O (2004) Hidrodinámica y transporte de masa en el sistema lagunar Bahía Magdalena–Bahía Almejas, Baja California Sur, México: modelación y experimentación. Tesis del doctorado CICIMAR-IPN
- Schwing FB, Moore CS, Ralston C, Sakuma KM (2000) Record coastal upwelling in the California Current in 1999. Calif

Coop Oceanic Fish Invest Rep 41:148-160

- UNAM (1985) Tablas de predicción de mareas. UNAM México México DF
- Zaitsev O, Sánchez-Montante O, Robinson C (2006) Características del ambiente hidrofísico en la plataforma continental y zona oceánica adyacente al sistema lagunar de Bahía Magdalena. En el mismo libro.
- Zimmerman JTF (1981) Dynamics, diffusion and geomorphological significance of tidal residual eddies. Nature 290:549-555.

Sánchez-Montante O, Zaitsev O, Saldivar-Reyes M (2007) Condiciones hidrofísicas en el sistema lagunar Bahía Magdalena-Almejas. En: Funes-Rodríguez R, Gómez-Gutiérrez J, Palomares-García R (eds) Estudios ecológicos en Bahía Magdalena. CICIMAR-IPN, La Paz, Baja California Sur, México, p 1-28

# Características del ambiente hidrofísico de la plataforma continental y zona oceánica adyacente al sistema lagunar Bahía Magdalena-Almejas

### Oleg Zaitsev<sup>1,\*</sup>, Orzo Sánchez-Montante<sup>2</sup>, Carlos J. Robinson<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Departamento de Oceanología. Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas, Instituto Politécnico Nacional,

Av. IPN s/n. Col Playa Palo de Sta. Rita, AP 592, La Paz, 23096, Baja California Sur

<sup>2</sup> Centro de Investigación en Ciencia Aplicada y Tecnología Avanzada, Instituto Politécnico Nacional,

Altamira, Km 14.5 Carretera Tampico-Puerto de Altamira, Altamira 89600, Tamaulipas

<sup>3</sup> Laboratorio de Ecología de Pesquerías. Instituto de Ciencias del Mar y Limnología,

Universidad Nacional Autónoma de México, AP. 70–305, México, DF. 04510

RESUMEN: Este capítulo analiza algunas características oceanográficas de la zona oceánica adyacente al sistema laqunar Bahía Maqdalena-Almejas (BM-BA) con base en el análisis bibliográfico y de datos inéditos. La variabilidad estacional de la temperatura superficial del mar (TSM) analizada a partir de las imágenes satelitales obtenidas por el radiómetro avanzado de alta resolución (AVHRR) muestra la evolución del frente oceánico térmico de las condiciones tropicales y subtropicales durante el periodo de transición de invierno-primavera a verano-otoño, caracterizado por un cambio en la dirección del gradiente horizontal de la TSM. De acuerdo con el patrón estacional de las corrientes geostróficas, la variabilidad de la TSM está modulada en otoño por la intrusión de aguas subtropicales hacia el polo a lo largo de la costa de la península Baja California. Este efecto sucede con mayor intensidad durante años El Niño y puede ser un mecanismo de transporte de aguas superficiales subtropicales y en ocasiones tropicales frente al sistema lagunar BM-BA. Otra característica sobresaliente es la actividad de surgencias costeras que alcanzan su mayor intensidad durante el periodo de primavera-verano, identificadas como áreas con anomalías negativas de hasta –2.5° C extendiéndose hasta 20 km mar adentro. La estructura termohalina, obtenida de las mediciones directas con CTD mostró que las condiciones de surgencia frente a la boca de BM determinan la presencia de aguas oceánicas sub-superficiales, relativamente frías y con altas concentraciones en nutrientes. La combinación de surgencia con agua sub-superficial y el transporte horizontal de marea hacia el interior de BM, puede ser considerado como un aporte importante de nutrientes hacia el interior del sistema lagunar, con su mayor efecto de marzo a junio.

PALABRAS CLAVE: Hidrodinámica · Surgencia costera · Frente oceánico · Sistema lagunar Bahía Magdalena-Almejas

ABSTRACT: Several oceanographic features of the area were analyzed based on literature review and using unpublished data set obtained by us. Seasonally variability of the sea surface temperature (SST), obtained from satellite images (AVHRR) showed the evolution of a thermal front between the tropical and subtropical water masses, recorded during the transition period from winter-spring to summerautumn in the oceanic region off Bahía Magdalena-Almejas (BM-BA). This evolution was characterized by a change in the orientation of the SST horizontal gradient. Seasonal patterns of geostrophic flow indicated that SST was modulated by a pole-ward advection current during autumn, transporting subtropical waters along the west coast of the Baja California peninsula. This type of water mass intrusion, which was more intense during El Niño year, could be the mechanism of a subsurface and subtropical water transport along the adjacent area to the BM-BA lagoon system. Another key feature was the coastal upwelling activity, which was more intense during the spring-summer period. Negative anomalies of SST (-2.5 °C) contrast strongly with adjacent recorder conditions, extending upwelling features for about 20 km offshore. The thermo-haline structure, observed from the data obtained in-situ at the area showed that the upwelling events control the presence of relatively cold sub-surface water, with higher nutrient concentration. The combination of the upwelling events and the tidal horizontal transport throughout the mouth of the bay, could be considered as an important nutrient flux mechanism for the BM-BA lagoon system, which is more intense between March and June.

KEYWORDS: Hydrodynamics  $\cdot$  Coastal upwelling  $\cdot$  Oceanic front  $\cdot$  Bahía Magdalena-Almejas lagoon system

#### INTRODUCCIÓN

Los principales objetivos de esta revisión son: (1) caracterizar las propiedades termohalinas de las aguas adyacentes al sistema lagunar BM-BA y su variabilidad espacio-temporal, y (2) analizar los procesos oceanográficos y meteorológicos que afectan al intercambio de agua entre el Océano Pacífico y el interior del sistema lagunar.

Características generales de las corrientes oceánicas de la costa occidental de la península de Baja California. La región de estudio interactúa con la extensión sur de la Corriente de California (CC), la cual conforma uno de los sistemas de corrientes mejor estudiados del mundo. La variabilidad estacional e interanual de las condiciones hidrofísicas de la región oceánica en el área de influencia de la Corriente de California, ha sido estudiada desde 1949 por el programa California Cooperative Oceanic Fisheries Investigations (CalCOFI) (Lynn et al. 1998, Hayward et al. 1999, Durazo et al. 2001, Schwing et al. 2002, Pares–Sierra & O'Brien 1989, Di Lorenzo 2003).

En fechas recientes, se han llevado a cabo estudios hidrofísicos de la porción sur de la CC, a través del programa oceanográfico denominado Investigaciones Mexicanas de la Corriente de California (IMECOCAL), mismo que representa una extensión del programa CalCOFI, en aguas mexicanas, desde la frontera México-EEUA hasta el Golfo de Ulloa (32–25°N) (http:// imecocal.cicese.mx/). Desde 1998, los resultados hidrógráficos de ambos programas (CalCOFI e IMECOCAL) han sido conjuntamente publicados (Lynn et al. 1998, Venrick et al. 2003, Goericke et al. 2004, entre otros).

La hidrodinámica de la región advacente a la costa occidental de la península de Baja California (PBC), comprendida entre los 32 y 23° de latitud Norte, está determinada por la variabilidad en la extensión de la CC en su recorrido hacia el sur, la cual es considerada como una corriente superficial, de hasta 300 m de espesor y, en contraparte la presencia de una Contracorriente profunda y periódicamente una Contracorriente costera en dirección al polo (Hickey 1979, Chelton et al. 1982). El flujo de la CC, que actúa en el transporte de la masa de agua subártica de baja salinidad y temperatura, es variable con un ancho aproximado entre 150 y 1000 km desde la costa, hacia mar adentro, con una intensidad que varía de 0.03 a 0.08 m s $^{-1}$  durante el invierno y de 0.12 a 0.25 m  $s^{-1}$  durante el verano (Lynn et al. 1998, Durazo et al. 2001). La interacción térmica con la superficie y el contraste entre las aguas subárticas y subtropicales, dan como resultado una distribución espacial heterogénea de las variables termohalinas y estratificación de columna de agua, que dan origen a un complejo campo de alturas dinámicas y corrientes geostróficas relacionadas.

Las corrientes geostróficas junto con las corrientes inducidas por forzamiento de viento forman un campo hidrodinámico con variabilidad estacional, anual y de mesoescala (Strub & James 2000, Bograd & Lynn 2003, Di Lorenzo 2003). La variabilidad estacional de la intensidad y dirección del viento determina la hidrodinámica de la zona costera de la PBC. Los vientos del noroeste que circulan de forma paralela a las costas de Baja California, presentan una mayor intensidad durante la primavera, produciendo una intensificación de la CC y eventos de surgencias costeras de alta frecuencia (Bakun & Nelson 1977). Durante el otoño y el invierno, los vientos del norte y noroeste disminuyen su intensidad y consecuentemente la intensidad de la CC, que cambia su dirección hacia mar adentro en la porción sureña de la costa occidental de la PBC (Schwartzlose & Reid 1972).

Lynn & Simpson (1987) y Durazo & Baumgartner (2002) mencionaron que la extensión sur de la CC frente a la PBC, es una región oceánica conformada por cuatro masas de agua principalmente: (1) la masa de Agua Subártica (AsA) caracterizada por temperaturas relativamente frías (8°-21 °C) y de baja salinidad (33-34), que es transportada por la CC a profundidades entre 0 y 200m; (2) la masa de Agua sub-Tropical Superficial (AsTS), caracterizada por temperaturas de 20 a 28° C y salinidades de 34.4 a 35; (3) la masa de Agua Superficial Tropical (AST), caracterizada por temperaturas de 25 a 30° C y salinidades de 33 a 34; (4) la masa de Agua Ecuatorial sub-Superficial (AEsS) caracterizada por temperaturas de 8 a 15 °C y relativamente alta salinidad (34.3-35). Asimismo, con frecuencia también se encuentra la masa de Agua Transicional (AT) que resulta de la mezcla de las masas de agua AsA y AsTS.

Lynn & Simpson (1987) sugieren que la CC puede ser dividida en tres regiones de acuerdo a la variación estacional de la topografía dinámica: (1) una región oceánica, (2) una costera y (3) una zona de transición intermedia, entre las regiones anteriores. En las regiones de transición y costera la CC se desarrollan estructuras dinámicas de mesoescala como giros, meandros y filamentos (Wylie 1966, Strub et al. 1991). Las estructuras dinámicas se forman sobre la plataforma continental de la PBC asociadas a la variabilidad de mesoescala del viento superficial, la inestabilidad barotrópica y baroclínica de los flujos, la interacción de las corrientes con la topografía de plataforma y de los contrastes termohalinos entre las masas de agua AsA y AsTS (Soto-Mardones et al. 2004, Jerónimo & Gómez-Valdés 2006).

Roden (1971) y Soto–Mardones et al. (2004) mencionan que los giros ciclónicos de origen geostrófico actúan como un mecanismo de forzamiento de las contracorrientes que se dirigen hacia el polo a lo largo de la zona costera de la PBC. Estudios de la distribución superficial de la TSM y clorofila–a, determinados con base a datos satelitales de la CC (Legaard & Thomas 2006, Espinosa–Carreón et al. 2003) indican que en la región costera se observan frecuentemente filamentos con elevada concentración de clorofila–a y baja TSM, asociados a procesos de surgencias costeras de amplitud espacio–temporal altamente variable.

En general, en el área de influencia de la CC se presentan intensos gradientes horizontales costa–océano de las características físicas y biológicas. Mar adentro, estos gradientes determinan la ocurrencia de frentes termohalinos e hidrodinámicos relativamente estables, los cuales son indicadores de las zonas de transición de las corrientes principales (Castelao et al. 2006, Etnoyer et al. 2006). En la plataforma continental se encuentran frentes horizontales de mesoescala asociados a la ocurrencia de giros y meandros, así como de frentes locales latitudinales de las propiedades físicas y biológicas asociadas a la actividad de surgencia costera (Etnoyer et al. 2006).

La variabilidad de los procesos físicos de la CC en relación a los eventos de El Niño/Oscilación del Sur (ENSO) ha sido ampliamente documentada (Lynn et al. 1998, Durazo et al. 2001). Durante el evento climatológico El Niño (1997-98) se registraron temperaturas anormalmente cálidas y una disminución en la producción biológica de la zona costera de la PBC (Lavaniegos et al. 2002, Hernández de la Torre et al. 2004). Al respecto, Durazo & Baumgartner (2002) identificaron que durante el evento El Niño, las masas de ATr y AsTS penetran a lo largo de la costa hasta alcanzar la porción norte de la PBC. Al finalizar el evento, se origino una abrupta transición caracterizada por la presencia de aguas relativamente frías de alta productividad primaria, aunado a eventos de surgencias de intensidad anómala a lo largo del Pacífico Oriental. Estas condiciones han sido asociadas con la ocurrencia de periodos climáticos identificados como La Niña (Hayward et al. 1999). La topografía dinámica identificada por corrientes geostróficas y diagramas T–S durante un evento débil El Niño (2002-2003), muestra un intenso transporte de aguas subárticas al sur de Punta Eugenia, sin que la intensidad de los vientos dominantes disminuyera (Durazo et al. 2005).

Características hidrofísicas de la región costera adyacente al sistema lagunar BM-BA. Los estudios de hidrofísica de la región costera advacente al sistema lagunar BM-BA son escasos. Un estudio de corrientes geostróficas (200 db) que determina la divergencia de corrientes superficiales, cuya intensidad oscila en el rango de 0.02 a 0.06 m s<sup>-1</sup> en dirección perpendicular a la costa y, de hasta  $0.06~m~s^{-1}$  en dirección paralela a la costa (Salinas & Pinet 1981). Los resultados estadísticos y de algunas características asociadas con eventos de surgencias costeras de la región adyacente al sistema BM-BA, descritos en Zaytsev et al. (2003). La modelación numérica de circulación barotrópica invernal y de retención Lagrangiana de partículas (inertes y pasivas) en un dominio numérico del sistema lagunar y la región costera adyacente (Morales-Zárate et al. 2006). Así como, del comportamiento de las corrientes de marea en el transporte de organismos marinos en la zona adyacente al

sistema lagunar BM–BA (Robinson et al. 2004, Gómez–Gutiérrez & Robinson 2006).

**Área del estudio.** La localización geográfica y las características batimétricas de la región marina adyacente al sistema lagunar BM–BA son mostradas en la figura 1. La batimetría tiene una pendiente topográfica promedio de 0.0176, con variaciones de 0.008 cerca de la boca de BM y hasta de 0.027 en el talud principal de la plataforma continental, de acuerdo con datos obtenidos de los mapas de Navegación 21014 y 021121 del Centro Hidrográfico/Topográfico (Hydrographic/Topographic Center, Defence Mapping Agency) (Fig. 1C). No obstante la topografía del fondo, es de tal complejidad que se encuentran gradientes batimétricos longitudinales y latitudinales pronunciados, especialmente en la zona inmediata al sistema lagunar BM–BA (Robinson et al. 2004).

**Régimen de viento.** La figura 2 muestra los escenarios estacionales del promedio mensual del viento geostrófico superficial, calculados con base a los datos de la presión atmosférica (Fleet Numerical Meteorology and Oceanography Center, US Navy) (Zaytsev et al. 2003). En la región costera de Baja California Sur, los vientos provenientes del noroeste ocurren de noviembre a junio, mientras que durante el resto del año (julio a octubre) su intensidad noroeste disminuye y es cuando prevalecen los vientos del sur. El debilitamiento de los vientos del noroeste durante el otoño fue recientemente confirmado por Espinosa–Carreón et al. (2004), mediante el análisis de las anomalías estacionales del esfuerzo del viento en la superficie del mar sobre la costa del Pacífico de la PBC.



Fig. 1. Localización del área de estudio en la costa occidental de la península de Baja California, (a) batimetría, (b) pendiente del fondo, (c) a lo largo del transecto de muestreo, y (b) en la región costera adyacente al complejo lagunar BM–BA



Fig. 2. Variabilidad estacional del promedio mensual del viento superficial en el año 2000. Las distribuciones fueron calculadas la base de datos PFEL–NOAA, en una retícula de 1° de resolución (tomado de Zaytsev et al. 2003)

del viento se dirigen hacia el noroeste en noviembre, indicando el debilitamiento de vientos favorables para la generación de surgencia. En particular, el patrón del viento del noroeste incide en un 67%, con intensidades promedio de 5 m s<sup>-1</sup> y valores máximos de hasta 15 m s<sup>-1</sup> en la zona oceánica adyacente al sistema BM–BA (García-Escobar 1993).

#### MATERIALES Y MÉTODOS

La caracterización del campo termohalino en la región oceánica adyacente a BM se determinó a partir de las mediciones de las variables hidrofísicas registradas en cuatro campañas oceanográficas entre los años 2000 y 2003. En abril del 2000 y febrero del 2001 se realizaron mediciones de las propiedades de temperatura y salinidad en un transecto perpendicular a la costa, mientras que en marzo y diciembre del 2003, se obtuvieron mediciones en una red de estaciones que incluyó la plataforma continental, a bordo del buque oceanográfico "El Puma" (Fig. 3). En cada estación de la red de muestreo, las variables termohalinas fueron registradas mediante perfiles verticales con un CTD "Seabird" modelo 19plus y posteriormente se realizó la interpolación de los datos, con base en la cual se generaron las distribuciones horizontal y vertical de las variables. Se utilizó el promedio mensual y diario de la serie de tiempo del índice de surgencias costeras (Pacific Fisheries Enviromental Laboratory), que ha generado una base de datos de la variación del índice de surgencia costera (ISC), en términos de transporte de Ekman perpendicular a la costa, por forzamiento de viento y calculados mediante algoritmos descritos por Bakun & Nelson (1977). Esta base contiene las variaciones de intensidad de la surgencia costeras en 15 puntos geográficos estándar, localizados a lo largo de la costa del Pacífico de Norte América (separados por cada 3° de latitud). Sin embargo, debido a que la resolución de la distribución de los puntos estándar donde se especifican los ISC es insuficiente, se procedió a obtener la variabilidad espacial regional de la zona costera frente a de Baja California Sur, mediante el servicio de cálculo disponible en el portal electrónico de PFEL (www.pfeg.noaa.gov) con una resolución latitudinal de  $0.5^\circ$  (en vez de cada 3  $^\circ$  de latitud), considerando la pendiente batimétrica local de la plataforma continental para cada punto de cálculo. La variabilidad del viento geostrófico utilizado para el cálculo de los ISC con mayor resolución se obtuvo de la base de datos atmosféricos (Fleet Numerical Meteorology and Oceanograpy Center) la cuál es generada a partir de los resultados de la modelación numérica global de los campos sinópticos de la

presión atmosférica en la superficie. De esta forma se generó una serie de tiempo (1996-2001) de los ISC para la región adyacente al sistema lagunar BM–BA, considerando los parámetros locales de la batimetría, con el fin de analizar la variabilidad temporal de la actividad de las surgencias y su correlación con las variables oceanográficas locales.

Los escenarios de la distribución promedio mensual de la TSM fueron generadas a partir del procesamiento de las imágenes capturadas por el sensor satelital AVHRR (Advanced Very High Resolution Radiometer) a una resolución espacial de 1.1 km<sup>2</sup> para el nadir



Fig. 3. Localización de las estaciones de muestreo con CTD de los muestreos de abril 2000, febrero 2001, marzo 2003 y diciembre 2003

(Departamento de Oceanografía Física del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología de la UNAM). Las imágenes procesadas para este estudio corresponden a la costa occidental de la porción sur de la PBC (23–26° N y 111–113° O). El periodo analizado comprende de enero de 1996 a diciembre del 2001. La digitalización y georeferenciación de las imágenes de satélite se generó en laboratorio GIS (CICIMAR), utilizando las técnicas descritas por Martínez–Flores et al. (2000). Para los fines del presente análisis la distribución de la TSM fue a una resolución de 195 ´ 240 píxeles, longitud/latitud.

Los procesos dinámicos de la capa superficial del mar fueron inferidos con base en la distribución de las corrientes geostróficas con respecto del nivel de referencia de 500 dB, calculados a partir de los datos de las anomalías del nivel del mar (U.S. Naval Research Laboratory) con base en los datos de altimetría satelital del TOPEX, ERS–2 y GFO, a una resolución de 0.2°. El cálculo de las corrientes se realizó mediante el modelo numérico OCCAM (Ocean Circulation and Climate Advances Model) en una resolución de 0.25° (www.aoml.noaa.gov/ phod/dataphod/work/trinanes/INTERFACE/index.html).

#### RESULTADOS

Variabilidad estacional de la TSM en la zona adyacente al sistema lagunar BM-BA. La variabilidad espacial y temporal de la TSM en la región de estudio, se analizó con base en las distribuciones de las anomalías mensuales promedio de la TSM, con respecto al promedio temporal de la base de datos de 1996 al 2001. La secuencia bimestral de la distribución de las anomalías de la TSM (Fig. 4) muestra la evolución espacial del frente térmico, formado entre las aguas extratropicales y subtropicales, durante varios meses representativos del ciclo anual. En la secuencia de imágenes se observa un notable cambio estacional en la orientación del gradiente superficial de la TSM. De febrero a junio, la dirección de las isotermas está orientada aproximadamente de forma paralela a la línea de costa, conformando un gradiente costa-oceáno de la TSM, mientras que de agosto a diciembre, las isotermas tienen una orientación perpendicular a la costa, con un gradiente costa-océano casi nulo.

Ciclo estacional de las corrientes geostróficas. El ciclo estacional de las corrientes geostróficas en la capa superficial de la región del Pacífico sur de la PBC, se analizó con base al promedio trimestral de los campos de corrientes geostróficas en 2006 (Fig. 5A-D). En esta secuencia de imágenes, se observan a dos periodos de la variabilidad intra-anual bien definidos por la ubicación y dirección de los flujos principales de las corrientes. En el periodo de invierno y primavera, estos flujos se encuentran más alejados de la costa cuando se dirigen hacia el sureste, en comparación a lo observado en verano y otoño, cuando su dirección es principalmente hacia el noroeste. En los escenarios correspondientes al primero de los periodos antes referidos, se observa la relación más directa con la CC en la región adyacente al sistema lagunar BM-BA, con una ligera convergencia de las corrientes de abril a junio. Esta convergencia parece estar asociada a un par de giros que se desarrollan al norte y al suroeste de la región adyacente al sistema lagunar, como un ajuste en la vorticidad del campo de corrientes, probablemente asociados a la intensificación del viento del noroeste. Por su parte, la circulación geostrófica de verano a otoño presenta un flujo dirigido hacia noroeste que sigue aparentemente la configuración de la línea de costa.

Actividad de surgencias costeras ubicadas frente al sistema lagunar BM–BA. Los campos del promedio mensual de la anomalía de la TSM presentaron valores negativos, de hasta -1.5° C en la región adyacente al sistema lagunar BM–BA (Fig. 4, abril, junio, agosto), lo que indica la presencia en superficie, de aguas subsuperficiales de menor temperatura que el agua superficial transportada desde la región subártica.

La evolución espacio-temporal promedio de los ISC a lo largo de un ciclo anual sintético en la costa occidental de la PBC de enero 1996 a diciembre 2001 (Fig. 6A), es identificada en dos componentes de variación espacio temporal: (1) la intensificación de los valores del ISC de marzo a junio a lo largo de la PBC, y (2) la reducción en la intensidad de las surgencias al sur de la costa de la PBC. Particularmente, el ciclo anual de los ISC para la región adyacente al sistema BM-BA muestra una distribución bimodal, con un máximo de abril a mayo y un segundo incremento de menor intensidad, en otoño (Fig. 6B).

La variabilidad interanual del ISC de 1996 a 2001 (Fig. 7A), alcanzó valores máximos de hasta 130 m<sup>3</sup> s<sup>-1</sup> por cada 100 m de la línea de costa en mayo de 1998, como consecuencia de la intensificación de los vientos superficiales. Los valores mínimos ocurren desde finales de verano a principios de otoño, asociados a la presencia de ciclones tropicales. El valor más bajo del ISC fue registrado del 10 al 14 de septiembre de 1996, asociado con el paso del huracán Fausto (categoría 3, vientos de 178–209 km h<sup>-1</sup>), cuya trayectoria atravesó la porción sur de la PBC. Las variaciones diarias de los ISC en 1999 (Fig. 7B), fueron altamente variables, casi nunca negativas y tiene un periodo característico de días hasta una semana (Zaytsev et al. 2003). El promedio diario de los valores máximos del ISC alcanzó valores >200 m<sup>3</sup> s<sup>-1</sup>, por cada 100 m de línea de costa de abril a mayo.

Patrones hidrográficos asociados a las surgencias costeras. La relación entre la actividad de surgencias y las condiciones hidrográficas, se analizó con base a la comparación entre el promedio mensual de la variación interanual del ISC y la diferencia del promedio mensual de la TSM en la zona de máximas anomalías negativas. Para esta comparación fueron definidas dos subregiones que dividen térmicamente la región oceánica adyacente al sistema lagunar (Fig. 8A): (1) la región más cercana a la costa que comprende una extensión de 2000 km<sup>2</sup> (100 km de largo de la línea de costa, por 20 km perpendicular a la costa), y (2) la región oceánica adyacente que cubre un extensión de 9000 km<sup>2</sup> (100 km paralelo a la línea de costa, por 90 km perpendicularmente). La extensión costa–océano de la zona de surgencia costera



Fig. 4. Secuencia bimestral del patrón climático con base a la anomalía promedio mensual de la TSM de 1996 a 2001 (indicado en cada caso como <T>), en la región oceánica adyacente al sistema lagunar BM–BA (tomado de Sánchez Montante 2004). Las distribuciones de <T> fueron calculadas utilizando la base de datos mensuales de las imágenes AVHRR

fue seleccionada de acuerdo a la distribución observada en mayo de 2000, cuando la anomalía negativa de la TSM fue máxima ( $-2.5^{\circ}$  C) (Fig. 8B). Los valores de la TSM contenidos en cada una de estas áreas fueron promediados para obtener una serie de tiempo de cada subregión en el periodo de 1996 a 2001. La serie de tiempo promedio de TSM en la región alejada de la costa (Fig. 8C) muestra a dos periodos bien diferenciados de tres años, uno con anomalías predominantemente positivas (1996 a 1998) y otro con anomalías predominantemente negativas (1999 a 2001). La variabilidad interanual indica un cambio de régimen climático cálido de hasta 4° C



Fig. 5. Variabilidad estacional de corrientes geostróficas (500 db) calculadas con el modelo OCCAM, con base en los datos de altimetría satelital en 2006 (U.S. Naval Research Laboratory). (A) enero-marzo, (B) abril-junio, (C) julio-septiembre y (D) octubrediciembre. Las flechas representan los flujos principales

mayor a la media, asociado a la ocurrencia del fenómeno de El Niño (1997–98), por un régimen de clima frío correspondiente a las condiciones del evento contrario, La Niña.

La comparación entre el ISC correspondiente a la latitud de BM–BA y las diferencias de TSM promedio entre la región cercana y alejada de la costa, tuvieron una periodicidad semejante (Fig. 8D). En cambio, en primavera de 1998 el promedio mensual del ISC alcanzó el valor máximo (120 m<sup>3</sup> s<sup>-1</sup>), sin embargo, la diferencia en la TSM entre las dos subregiones fue insignificante, lo cual sugiere que durante 1998 (El Niño), las condiciones que produjeron eventos de surgencia, no causaron anomalías negativas en la TSM. Un posible mecanismo fue la profundización de la termoclina estacional, debido al intenso calentamiento de las aquas costeras, aunado a la intrusión de las aguas subtropicales; por lo que la intensidad de la surgencia durante este periodo, no fue suficiente para bombear aguas frías subsuperficiales hacia la superficie. En contraparte, durante la primavera del 2000, cuando el ISC fue débil (80 m<sup>3</sup> s<sup>-1</sup>) fue notable el contraste térmico (>3 ° C), probablemente debido a un débil desarrollo de la capa de mezcla durante las condiciones de La Niña, relacionado con una termoclina y picnoclina cercana a la superficie y un notable gradiente térmico vertical, durante el cual, un reducido ISC pudiera ser suficiente para producir anomalías negativas de la TSM cerca de la costa.

Los patrones de distribución horizontal y vertical de las condiciones hidrográficas, de la sección transversal a la boca de BM (Fig. 9A–D), tuvieron relación con la intensificación del ISC registrado el 22 de febrero del



Fig. 6. (A) ciclo anual promedio de los índices de surgencia costera en la península de Baja California (tomado de Zaytsev et al. 2003), y (B) en la región costera de Bahía Magdalena Almejas (112.5° W, 24.5° N). Las barras indican la desviación estándar asociada al índice de surgencia promedio de 6 años (1996–2001)



Fig. 7. (A) Series de tiempo del promedio mensual del índice de surgencia de 1996 a 2001, y (B) del promedio diario en 1999, en la región adyacente al sistema lagunar Bahía Magdalena-Almejas



Fig. 8. Análisis de la variación interanual de la temperatura superficial del mar asociada a la actividad de surgencias costeras en la región adyacente al sistema lagunar Bahía Magdalena (A) división de la región de estudio. (B) distribución espacial de la anomalía de la temperatura en mayo del 2000, con respecto del promedio temporal de mayo de 1996 a 2001. (C) serie mensual de temperatura (línea delgada) y anomalía de temperatura, con respecto al promedio de la serie de datos de 1996 a 2001. y (D) comparación de las diferencias de temperatura (región adyacente-zona cercana a la costa) y los índices de surgencia frente a Bahía Magdalena (tomado de Zaytsev et al. 2003)

2001 (Fig. 9b). La distribución de la TSM (AVHRR-NOAA), fue comparativamente menor a lo largo de toda la línea de costa, particularmente al sureste de la boca de BM; región señalada anteriormente como el área más probable de la manifestación de surgencias costeras. La distribución vertical de la temperatura mostró una capa superficial bien mezclada de hasta 60 m de profundidad, a 20 km frente a la boca de BM y, un afloramiento de la isoterma de 16° C, desde 70 m hasta los 10 m de profundidad (Fig. 9D). La distribución horizontal de la concentración de los nitratos y nitritos presentan valores máximos en el interior de BM a 6 km de la boca (Fig. 9C). Este es un proceso puede ser relacionado con el transporte intermareal de aguas subsuperficiales de surgencia, hacia el interior de BM.

Durante las campañas oceanográficas de marzo y diciembre del 2003 se midieron las variables termohalinas frente la boca de BM (Fig.10A–D). La variación espacial de la estratificación al exterior de BM fue analizada en dos grupos de estaciones: (1) uno oceánico ubicado aproximadamente 30 km de la costa (Fig. 10A) y otro costero (Fig. 10B) en marzo del 2003, y (2) un grupo oceánico localizado aproximadamente a 20 km de la costa (Fig. 10C) y un grupo costero en diciembre del 2003 (Fig. 10D). Durante marzo, los perfiles oceánicos de sigma–t



Fig. 9. Análisis de las condiciones hidrográficas asociadas a la actividad de surgencias en el sistema lagunar Bahía Magdalena-Almejas del 21 al 25 de febrero del 2001. (A) distribución promedio de la temperatura superficial de febrero del 2001, (B) índice promedio diario de surgencia (24.5° N), (C) distribución de la concentración de nutrientes (Nitratos y Nitritos), (D) distribución vertical de la temperatura (T) del 22 de febrero, y (D) a lo largo de la sección transversal a la boca de Bahía Magdalena indicada en (A) (tomado de Zaytsev et al. 2003)

tuvieron una estratificación pronunciada, con una capa de mezcla superficial caracterizada por un valor de sigmat cercano a 24.5 kg m<sup>-3</sup> y una picnoclina registrada entre 37 y 53 m de profundidad (Fig. 10A). En los perfiles costeros (Fig. 10D) no se identificó una capa mezcla, los valores de sigma-t oscilan alrededor de 25.0 kg m<sup>-3</sup> en superficie, que corresponden a profundidades de 50 m en estaciones oceánicas. En contraparte, durante diciembre, es evidente una capa mezcla hasta 45 m de profundidad, la cual disminuyó su espesor (30m) cerca de la costa, al mismo tiempo que las aguas subsuperficiales no alcanzaron la superficie.

Los diagramas T–S generados con base a los datos de marzo del 2003 (Fig. 11A) muestran la presencia de aguas con temperaturas entre 12 y 15 °C y salinidades entre 34.3 y 34.7, que corresponden a las aguas ecuatoriales subsuperficiales (AEsS), entre 80 y 200 m de profundidad sobre la plataforma continental del sistema lagunar BM– BA. Las características hidrofísicas de la capa de agua



Fig. 10. Estratificación vertical frente a Bahía Magadalena-Almejas en (A,B) marzo, y (C,D) diciembre del 2003. Distribución vertical de la densidad (en términos de sigma–t) en la zona más alejada de la costa en: (A) marzo y (B) diciembre; y en la zona próxima a la costa en (C) marzo y (D) diciembre

superficial a 80 m de profundidad, corresponden al rango característico de la masa de agua de transición y, muy escasos datos corresponden al rango de aguas subárcticas (AsA). En cambio durante diciembre del 2003 (Fig.11B) las aguas con características termohalinas que corresponden al tipo de masa de AEsS se observó a más de 100 m de profundidad, sin embargo, la capa superficial presenta un incremento sustancial de temperatura que pertenece al rango termohalino de la masa AsTS.

Los eventos de surgencias son claramente identificados en la distribución vertical de la temperatura en marzo del 2003, como se observa en el transecto perpendicular a la boca de BM (Fig. 12A). Esta distribución está caracterizada por el ascenso a la superficie de las isotermas de 17–18.5 °C, desde mas de 50 m de profundidad en 35 km de la costa, conformando una zona del gradiente térmico costa-océano en superficie (frente de surgencia local) (Fig. 12A). En diciembre del 2003, las isotermas son prácticamente paralelas a la superficie



Fig. 11. Diagramas T–S del agua sobre la plataforma continental frente a Bahía Magdalena-Almejas en (A) marzo y (B) diciembre del 2003. Las profundidad máxima registrada fue de 200m. AsA, Agua sub–Ártica; AsTS, Agua sub–Tropical Superficial; AEsS, Agua Ecuatorial sub–Superficial; ATr, Agua Transicional; y AIPN, Agua Intermediaria del Pacífico Norte

(>21° C), por lo que no existe un afloramiento de aguas de menor temperatura (17-18° C), las cuales estuvieron por debajo de los 60 m y, consecuentemente inaccesibles al forzamiento del viento predominante durante esta época del año (Fig. 12B).

Durante marzo, la distribución horizontal de la temperatura promedio de la capa superficial de 10 m de espesor (Fig. 13A), identifica una diferencia térmica significativa entre la zona alejada de la costa a 20 km (18.5 °C) y las aguas en la vecindad de la boca de BM (16.0 °C). En cambio en diciembre el gradiente térmico superficial fue menos pronunciado, con una diferencia en temperaturas alrededor de 1.5 °C (Fig.13B).

#### **DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES**

La región oceánica adyacente a la PBC situada en la porción sureña del área de influencia de la CC, presenta una alta actividad de remolinos y meandros. En la latitud del sistema lagunar BM–BA, el flujo principal de la CC se encuentra alejado de la costa particularmente durante el otoño; por lo tanto, su intensidad y sus fluctuaciones disminuyen considerablemente en la zona costera frente a BM–BA (<50 km) teniendo así, una influencia solamente indirecta e inestable.

La distribución espacial del promedio mensual de las anomalías de TSM tiene una evolución temporal en los patrones de interacción térmica extratrópical–subtrópical a lo largo de un ciclo anual. La cual está caracterizada por un cambio en la localización del frente térmico superficial y la dirección del gradiente de TSM (Fig. 4). Asimismo, estas variaciones regulan el tipo de masa de agua y su estratificación sobre la plataforma continental del sistema lagunar. Es característico de la zona, que desde febrero hasta agosto, el frente térmico superficial está orientado paralelamente a la línea de costa, con los valores de menor temperatura en la región costera adyacente al sistema lagunar. Lo cual pone de manifiesto el efecto de la actividad de surgencias costeras forzadas por la intensificación del viento superficial sinóptico, en correlación con la intensificación de la CC. En contraparte, durante el periodo cálido del año, el frente esta orientado de forma perpendicular a la línea de costa frente al sistema lagunar BM-BA (septiembre-diciembre). Durante este periodo, el principal componente de las corrientes geostróficas (isobata de 500 m) esta orientada a la dirección noroeste, correspondiendo las aguas superficiales sobre la plataforma continental frente a BM-BA, al tipo de agua con características subtropicales.

El análisis comparativo de la variabilidad estacional de las corrientes geostróficas (Fig. 5) y de los vientos dominantes (Fig. 2) confirmó que durante primavera y principios de verano, la intensidad de los vientos induce el flujo geostrófico hacia el Ecuador, a lo largo de la costa, prácticamente hasta el extremo sur de la península. La existencia de meandros y remolinos asociados con la CC inducen el intercambio de masas de agua oceánicas y costeras. El patron de las corrientes de la CC para el año 2006 (Fig. 5A,B), indica una ligera convergencia en la



Fig. 12. Secciones verticales de temperatura sobre los transectos realizados en marzo y diciembre del 2003, mismos que se ubican en la figura10 con línea continua



Fig. 13. Distribución de temperatura a 10 de profundidad frente a Bahía Magdalena-Almenjas en (A) marzo, y (B) diciembre del 2003

región adyacente al sistema lagunar BM–BA, de donde es evidente un transporte neto de aguas subárticas predominantemente dirigido hacia sureste.

De verano a otoño, el viento promedio superficial disminuye su intensidad y cambia su dirección hacia mar dentro, al sur de Punta Eugenia (Fig. 2C,D); las anomalías del esfuerzo del viento se dirigen principalmente hacia el noroeste (Espinosa–Carreon et al. 2004), lo que permite la intrusión de aguas superficiales subtropicales a lo largo de la costa de la PBC en dirección al polo. El patrón estacional de la distribución de la TSM y corrientes geostróficas son congruentes entre si, indicando que el ciclo anual del transporte promedio de agua en la región frente a BM-BA, es caracterizado por dos periodos bien definidos: (1) de enero a junio por un influjo hacia el sureste del agua subártica y transicional, de menor temperatura y salinidad (Roden 1971), y (2) de julio a diciembre, por la presencia de agua con características que se identifican comúnmente en aguas subtropicales y, en menor proporción la presencia de agua tropical.

El debilitamiento de los vientos del noroeste y el cambio en la dirección de las corrientes geostróficas hacia el norte en la porción sur de la PBC se intensifica durante los años El Niño (Durazo & Baumgartner 2002). Estos autores elaboraron un diagrama conceptual (Fig. 14) que compara dos escenarios temporales: uno para años sin eventos El Niño, según Roden (1971), y otro para años El Niño (1997– 98). Durante el otoño, en años libre del evento El Niño, el agua transicional (ATr) y, en ocasiones, agua tropical superficial (ATS) fluye a lo largo de la costa en dirección noroeste hasta Punta Eugenia. Durante periodos El Niño, las aguas subtropicales superficiales (ASTS) predominan en la región del Pacifico frente a la PBC, y las aguas de

Fig. 14. Esquema conceptual de los principales flujos y advección de masas de agua en la costa occidental de la península Baja California: izquierda, noviembre del 1969 (año "normal", según Roden 1971), derecha, durante el evento El Niño (1997–98). Los paneles superiores muestran la distribución horizontal, y los inferiores la distribución vertical en las secciones marcadas de los paneles superiores con la línea punteada. Ä, flujo hacia el este; (), flujo hacia el oeste; AsA, Agua sub–Ártica; ATS, Agua Tropical Superficial; AsTS, Agua sub–Tropical Superficial; ATr, Agua Transicional; AEsS, Agua Ecuatorial sub–Superficial; y AGC, Agua del Golfo de California. Figura tomada con permiso del Elsevier Publishing Co. (Durazo & Baumgartner 2002)

transición (ATr) fluyen a lo largo de la costa hasta California norte. Por lo que en años El Niño, en la región adyacente a BM–BA, se intensifica la influencia de aguas subtropicales superficiales, aguas transicionales y, posiblemente, aguas tropicales superficiales. Algunos autores (Kessler 2006, Lavin et al. 2006) proponen la hipótesis de que la Corriente Costera de Costa Rica puede transportar las aguas tropicales superficiales (ATS) hasta el sur de la PBC durante el otoño. La identificación de masas de agua por diagramas T–S en la plataforma continental frente al sistema BM-BA tiene carácter relativo por la mezcla intensa de diferentes tipos de agua y el comportamiento de los eventos de surgencia. Sin embargo, este tipo de análisis junto con la información sobre organismos planctónicos y micronectónicos provee la información de la procedencia subárctica o subtropical de las aquas.

Las surgencias costeras en el área de estudio son identificadas como un importante componente hidrofísico que afecta a los periodos reproductivos y en áreas de alimentación de muchas especies, debido a su intensidad y frecuencia. La extensión espacial de las zonas de surgencias depende principalmente de la intensidad, dirección y duración del viento, del esfuerzo rotacional de viento, orientación de la línea de costa, y de las características batimétricas. En los trabajos clásicos de Bakun & Nelson (1977, 1991) se menciona que cuando el esfuerzo rotacional del viento es positivo, la intensidad del viento se incrementa desde la costa en dirección hacia el mar abierto y, el transporte de las aguas superficiales induce a una divergencia de aguas superficiales. Cuando el esfuerzo rotacional del viento es negativo, su intensidad decrece hacia el mar abierto y el afloramiento de aguas de menor temperatura cerca de la costa, no puede ser transportado con suficiente velocidad, formando una convergencia de aguas superficiales y consecuentemente una elevación del nivel del mar. El esfuerzo rotacional negativo del viento limita la extensión de la zona superficial de surgencia hacia fuera de la costa. Al respecto, Strub et al. (1991) hacen mención de diversas situaciones en las que se presentan filamentos superficiales en las zonas de surgencias. Estos filamentos y otras estructuras hidrofísicas de las zonas de surgencias están relacionadas con la topografía de la plataforma e irregularidades de la línea de costa (Castelao & Barth 2006). Por otro lado, la estratificación de la columna de agua afecta la aparición y extensión de las anomalías térmicas negativas. Así, la intensificación de la mezcla vertical en la capa superfi-


cial puede enmascarar el frente térmico superficial originado por la surgencia costera.

La zona de surgencia frente al sistema lagunar fue identificada por medio de la distribución espacial de las anomalías de la TSM mediante la determinación de anomalías negativas, cerca de la costa. En general, los valores máximos de anomalías negativas (hasta de -2.5° C) se encontraron en la región adyacente al sistema BM-BA en mayo. Además, de observar frentes térmicos locales en superficie que limitan la extensión de la zona de anomalías térmicas negativas. El análisis de la información hidrofísica, obtenida en 2003, indicó que la extensión superficial de la zona de surgencia frente a BM-BA puede alcanzar hasta 30 km retirado de la costa. Esto a pesar de que la intensidad de los eventos de surgencia es prácticamente de la mitad con respecto a altas latitudes, pero suficientemente intensa para producir afloramientos de aguas subsuperficiales, desde 70 m de profundidad. La distribución promedio mensual de la TSM de diferentes años, indica que los contornos de anomalías negativas siempre se presentan con la misma configuración geométrica al exterior de BM, lo cual es interpretado como una respuesta dinámicamente estacionaria, causada por la orientación y topografía local de la plataforma continental.

La ocurrencia de surgencias costeras es asociada a una alta disponibilidad de nutrientes y consecuente de una alta productividad primaria. Las distribuciones verticales de temperatura (Fig.12, marzo) y sigma-t (Fig. 10) mostraron la presencia de aguas subsuperficiales en la vecindad de la boca de BM. Asimismo, se ha determinado la existencia de corrientes de marea con intensidades que alcanzan valores hasta de 1.25 m s<sup>-1</sup> en la boca de BM (Sánchez–Montante 2004, Gómez–Gutiérrez & Robinson 2006). De tal forma que, la combinación de la actividad de surgencias y corrientes de marea, da como resultado el acoplamiento de un mecanismo de transporte de aguas subsuperficiales hacia el interior de BM (Fig. 15), que

genera condiciones hidrodinámicas semejantes a las aguas de la plataforma continental, en la parte más profunda de BM. Este mecanismo puede ser considerado de importancia para el aporte de nutrientes, plancton y necton al sistema lagunar, especialmente de marzo a junio. Esto es consistente con estudios hidroacústicos que señalan un transporte de plancton y micronecton por corrientes de marea a través de la boca de BM, donde además se indica la combinación de este mecanismo hidrodinámico, con la migración vertical diaria de los organismos (Robinson & Gómez-Aguirre 2004, Gómez-Gutiérrez & Robinson 2006, Martínez–Gómez et al. 2007, Robinson et al. 2007).

La estratificación de la zona marina costera adyacente a la boca de BM, regula parcialmente el proceso de transporte de aguas frías y ricas de nutrientes hacia el interior de BM. Por ejemplo en invierno, cuando la profundidad de la termoclina estacional es máxima y excede la profundidad de la boca BM (45 m), no se registró el influjo de aguas subsuperficiales frías al interior de BM. En tanto que aún cuando el ISC promedio fue casi siempre positivo, la capa de mezcla es profunda en otoño e invierno, de tal forma que el agua subsuperficial que aflora durante las surgencias, no proviene de la parte más profunda de la termoclina (Fig.12B, diciembre). En apoyo a estos resultados Gómez-Gutiérrez et al. (2001) mostraron un efecto del incremento en la profundidad de la capa de mezcla y hundimiento de la termoclina en otoño a las profundidades mayores a las de la boca de BM. En contraste, durante la primavera y el verano, el ascenso de la termoclina hacia la superficie permite el influjo de las aguas frías de surgencia hacia el interior de BM; una vez establecida la estratificación de la columna de agua en la zona interior de BM. Además de lo anterior, en este estudio se muestra la evidencia de un influjo de agua subsuperficial proveniente de la plataforma continental, el cual es mezclado con las aguas superficiales por efecto de fricción con el fondo rocoso en la boca de BM.

En el área de estudio, existe una limitada cantidad de trabajos de investigación sobre la modelación numérica de la circulación oceánica regional, teniendo como mayor dificultad la definición de las condiciones dinámicas en fronteras abiertas. Una posible solución sería el acoplamiento de modelos a diferentes escalas, para determinar las condiciones dinámicas de frontera (corrientes y variaciones de nivel del mar) en un modelo de alta resolución, a partir de un modelo de circulación de mayor escala o global. El único trabajo publicado sobre la modelación numérica en la zona de estudio, determina las variaciones de nivel en las fronteras líquidas, a partir de los resultados obtenidos por otro modelo de mayor escala (Morales–Zárate et al. 2006). Estos autores calcularon la circulación barotrópica por forzamiento de



Fig. 15. Esquema conceptual del mecanismo acoplado de surgencias costeras y transporte de marea que determina el intercambio de agua entre Bahía Magdalena-Almejas y la zona oceánica adyacente (tomado de Zaytsev et al. 2003)

la marea, el viento y una aproximación del efecto resultante de la CC, con el objeto de simular el transporte de partículas pasivas, mediante el cual, se identifica que bajo ciertas condiciones de viento (predominantemente del oeste, relativamente raros para la región) pudieran penetrar al sistema lagunar.

En conclusión, al observar el estado reciente del conocimiento sobre el ambiente hidrofísico en la región adyacente al sistema lagunar BM-BA, aunque actualmente existe información sobre la variabilidad estacional de la TSM, la actividad de surgencias y condiciones termohalinas en algunos meses, es insuficiente para llegar los esquemas conceptuales relativamente simples de la circulación local. Los resultados disponibles hasta la actualidad permiten sintetizar las siguientes observaciones principales:

(1) La variabilidad estacional de la distribución de la TSM y del patrón de circulación de la plataforma continental del sistema lagunar BM–BA muestran dos escenarios dinámicos: (a) la intensificación de los vientos del noroeste establece un transporte costero promedio de aguas en dirección al sur desde enero a junio, y (b) con frecuencia se observa el predominio del flujo de aguas subtropicales hacia el polo de agosto a noviembre, originado por el debilitamiento y cambio de la dirección de vientos y la CC;

(2) Las características termohalinas que son predominantes frente al sistema BM–BA (50–60 km mar adentro y, hasta 200 m de profundidad) con frecuencia corresponden al rango de agua de transición (ATr), debido a un proceso de mezcla entre aguas subárcticas (AsA) y subtropicales superficiales (AsTS);

(3) La hidrodinámica costera está modulada por los eventos de surgencia costera, particularmente de marzo a junio, las cuales inducen el afloramiento de aguas subsuperficiales, de las profundidades de hasta de 70 metros hacia la superficie;

(4) El efecto combinado de la surgencia costera, la circulación de la marea y la mezcla turbulenta, constituye el principal mecanismo de transporte hacia el interior de BM del material marino disuelto y particulado, tales como nutrientes, plankton, larvas, etc..

Las perspectivas futuras del estudio están relacionadas con la necesidad de investigar procesos que son aún poco estudiados como:

(1) Identificar la variabilidad de las corrientes a través de mediciones de largo plazo utilizando perfiladores acústicos de corrientes Doppler, con el fin de cuantificar en tres dimensiones las corrientes inducidas por viento y, su variabilidad en escalas espacio-temporales distintas;

(2) Estudiar la variabilidad estacional y de mesoescala de la estratificación y turbulencia que determinan el flujo de nutrientes hacia el interior del sistema BM–BA;

(3) Determinar las condiciones meteorológicas a diferentes escalas de tiempo, mediante la utilización de una estación meteorológica para identificar la variabilidad del campo local de viento y el efecto de brisa en la circulación y el oleaje;

(4) Cuantificar el transporte de material disuelto y en suspensión, mediante la exploración numérica, utilizando modelos hidrodinámicos tridimensionales. Agradecimientos. Los estudios experimentales en el sistema lagunar BM–BA fueron realizados del 2000 al 2003, con el apoyo de proyectos institucionales del Instituto Politécnico Nacional (SIP 2000–0001, SIP 20031396, SIP 20040172). Al Depto. de Oceanografía del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología de la UNAM y especialmente a los investigadores, M.C. Eric Martínez, M.C. Ranulfo Rodríguez y Dr. Artemio Gallegos. Los autores O. Z. y C. R. son miembros del SNI y O. S. M. obtuvo apoyo CONACyT para estudios de posgrado. Agradecemos a las compañías editoriales de las revistas Journal of Oceanography y Progress in Oceanography por su autorización para usar las figuras 2, 8, 9, 14 y 15, previamente publicadas por los autores y finalmente a los revisores anónimos por sus valiosas críticas.

#### LITERATURA CITADA

- Bakun A, Nelson CS (1977) Climatology of upwelling related process of Baja California. Calif Coop Oceanic Fish Invest Rep 19:107–127
- Bakun A, Nelson CS (1991) The seasonal cycle of wind–stress curl in subtropical eastern boundary current region. J Phys Oceanogr 21:1815–1834
- Bograd S, Lynn RJ (2003) Long-term variability in the southern California Current system. Deep-Sea Res II 50:2355–2370
- Castelao RM, Mavor TP, Barth JA, Breaker LC (2006) Sea surface temperature fronts in the California Current system from geostationary satellite observations. J Geophys Res 111:(C09026) doi: 10.1029/2006JC003541
- Castelao RM, Barth JA (2006) The relative importance of wind strength and along–shelf bathymetric variations on the separation of a coastal upwelling jet. J Phys Oceanogr 36:412– 425
- Chelton DB, Bernal A, McGowan JA (1982) Large scale interannual physical and biological interaction in the California Current. J Mar Res 40:1095–1125
- Di Lorenzo E (2003) Seasonal dynamics of the surface circulation in the southern California Current system. Deep–Sea Res II 50:2371–2388
- Durazo R, Baumgartner TR (2002) Evolution of oceanographic conditions off Baja California: 1997–1999. Prog Oceanogr 54:7–31
- Durazo R, Baumgartner TR, Bograd SJ, Collins CA, Schwing FB, Gaxiola GA, Garcia J, Huyer A, Hyrenbach KD, Loya D, Lynn R, Smith RL, Sydeman W, Wheeler PA (2001) The state of the California Current in 1999–2000. Calif Coop Oceanic Fish Invest Rep 42:29–60
- Durazo R, Gaxiola–Castro G, Lavaniegos B, Castro–Valdez R, Gómez–Valdés J, Mascarenhas ADaS Jr (2005) Condiciones oceanográficas frente a la costa occidental de Baja California, 2002–2003: Influencia de un El Niño débil y del incremento de agua subártica. Cienc Mar 31(3):537–552
- Espinosa–Carreón TL, Strub PT, Ocampo–Torres F, Gaxiola– Castro G (2004) Seasonal and interanual variability of satellite–derived chlorophyll pigment, surface height, and temperature off Baja California. J Geophys Res 109:(C03039) doi: 10.1029/2003JC002105
- Etnoyer P, Canny D, Mate BR, Morgan LE, Ortega–Ortiz JG, Wallace JN (2006) Sea–surface temperature gradients across blue whale and sea turtle foraging trajectories off the Baja California Peninsula, México. Deep–Sea Res 53:340–358
- García-Escobar H (1993) Análisis del viento frente a bahía San Hipólito y el área comprendida entre Bahía Magdalena y Cabo San Lucas, B. C. S. en junio y julio de 1989. Invest Mar CICIMAR 8:95-96

Goericke R, Bograd SJ, Gaxiola-Castro G, Gómez-Valdés J, Hooff

R, Huyer A, Hyrenbach KD, Lavaniegos BE, Mantyla A, Peterson WT, Schwing FB, Smith RL, Sydeman WJ, Venrick E, Wheeler PA (2004) The state of the California Current, 2003–2004: a rare "normal" year. Calif Coop Oceanic Fish Invest Rep 45:27–59

- Gómez–Gutiérrez J, Palomares–García JR, Hernández–Trujillo S, Carballido–Carranza A (2001) Community structure and distribution of zooplankton through the main entrance of Bahía Magdalena México during 1996. Rev Biol Trop 49:545– 558
- Gómez–Gutiérrez J, Robinson CJ (2006) Tidal current transport of epibenthic swarms of the euphausiid Nyctiphanes simplex in a shallow, subtropical bay on Baja California peninsula, México. Mar Ecol Prog Ser 320:215–231
- Hayward TL, Baumgartner TM, Checkley DM, Durazo R, Gaxiola–Castro G, Hyrenbach KD, Mantyla AW, Mullin MM, Murphree T, Schwing FB, Smith PE, Tegner MJ (1999) The state of the California Current in 1998–99: transition to cool– water conditions. Calif Coop Oceanic Fish Invest Rep 40:29– 62
- Hernández de la Torre B, Gaxiola–Castro G, Najera–Martínez S (2004) Efectos del ENSO en la producción primaria frente a Baja California. Cienc Mar 30:427–441
- Hickey BM (1979) The California Current system –hypotheses and facts. Progr Oceanogr 8:191–279
- Jerónimo G, Gómez–Valdés J (2006) Promedios de temperatura y salinidad sobre una superficie isopícnica en la capa superior del océano frente a Baja California. Cienc Mar 32:663– 671
- Kessler SW (2006) The circulation of the eastern tropical Pacific: a review. Prog Oceanogr 69:181–217
- Lavaniegos BE, Jiménez–Perez LC, Gaxiola–Castro G (2002) Plankton response to El Niño 1997–98 and La Niña 1999 in the southern region of the California Current. Prog Oceanogr 54:33–58
- Lavin MF, Fiedler PC, Amador JA, Ballance LT, Färber–Lorda J, Mestas–Nuñez AM (2006) A review of eastern Pacific oceanography: Summary. Prog Oceanogr 69:391–398
- Legaard KR, Thomas AC (2006) Spatial patterns in seasonal and interannual variability of chlorophyll and sea temperature in the California Current. J Geophys Res 111:C06032
- Lynn RJ, Simpson JJ (1987) The California Current System: The seasonal variability of its physical Characteristics. J Geophys Res 92:12497–12966
- Lynn RJ, Baumgartner TM, Garcia J, Collins A, Hayward R, Hyrenbach KD, Mantyla W, Murphree T, Shankle A, Schwing FB, Sakuna KM, Tegner MJ (1998) The state of the California Current in 1997–98: transition to El Niño conditions. Calif Coop Oceanic Fish Invest Rep 39:25–50
- Martínez–Flores G, Zaitsev O, Salinas–González F, Gallegos A (2000) Segmentación de temperatura superficial del mar por crecimiento de regiones en imágenes NOAA–AVHRR. Proc del Segundo Congr Intern de Comp México DF pp 336–344
- Martínez–Gómez S, Gómez–Gutiérrez J, Robinson CJ (2007) Transporte de agregaciones de zooplancton a través de la boca de Bahía Magdalena asociado a corrientes y frentes de marea. En: Funes–Rodríguez R, Gómez–Gutiérrez J, Palomares–García R (eds) Estudios Ecológicos en Bahía Magdalena. CICIMAR-IPN, La Paz, Baja California Sur, México, p 189-203
- Morales-Zárate MV, Aretxabaleta AL, Werner FE, Lluch-Cota

SE (2006) Modelación de la circulación invernal y la retención de partículas en el sistema lagunar Bahía Magdalena–Almejas (Baja California Sur, México). Cienc Mar 32:631–647

- Pares–Sierra A, O'Brien JJ (1989) The seasonal and interannual variability of the California Current System – a numerical model. J Geophys Res 94:3159–3180
- Robinson CJ, Gómez–Aguirre S (2004) Tidal stream use by the red crab *Pleuroncodes planipes* in Bahía Magdalena. J Exp Mar Biol Ecol 308:237–252
- Robinson CJ, Anislado V, Ramos P (2004) Shoaling fish and red crab behavior related to tidal variations in Bahía Magdalena, México. Deep–Sea Res II 51:767–783
- Robinson CJ, Gómez–Gutiérrez J, Gómez–Aguirre S (2007) Efecto de la dinámica de las corrientes de marea en los organismos pelágicos en la boca de Bahía Magdalena. En: Funes–Rodríguez R, Gómez–Gutiérrez J, Palomares–García R (eds) Estudios Ecológicos en Bahía Magdalena. CICIMAR-IPN, La Paz, Baja California Sur, México, p 45-58
- Roden GI (1971) Aspects of the transitional zone in the northeastern Pacific. J Geophys Res 76:3462–3475
- Salinas GF, Pinet PR (1991) Corrientes geostróficas frente a Bahía Magdalena, Baja California Sur, México. Inv Mar CICIMAR 6:251–257
- Sánchez Montante O (2004) Hidrodinámica y transporte de masa en el sistema lagunar Bahía Magdalena–Bahía Almejas, Baja California Sur, México: modelación y experimentación. Tesis de Doctorado. Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas. La Paz, BCS., México
- Schwartzlose RA, Reid JL (1972) Near–shore circulation in the California Current. Calif Coop Ocean Fish Invest Rep 16:57– 64
- Schwing FB, Bograd FJ, Collins CA, Gaxiola GA, Garcia J, Goericke R, Gómez J, Huyer A, Hyrenbach KD, Kosro PM, Lavaniegos BE, Lynn R, Mantyla W, Ohman M, Petterson WT, Smith RL, Sydeman W, Venrick E, Wheeler PA (2002) The state of the California Current in 2001–02. Calif Coop Oceanic Fish Invest Rep 43:31–68
- Soto–Mardones L, Parés–Sierra A, García J, Durazo R, Hormazabal S (2004) Analysis of the mesoscale structure in the IMECOCAL region (off Baja California) from hydrographic, ADCP and altimetry data. Deep–Sea Res II 51:785–798
- Strub PT, Kosro PM, Huyer A (1991) The nature of cold filaments in the California Current System. J Geophys Res 96:14743–14768
- Strub PT, James C (2000) Altimeter derived variability of surface velocities in the California Current system: 2. Seasonal circulation and eddy statistics. Deep–Sea Res II 47:831–870
- Venrick E, Bograd SJ, Checkley D, Durazo R, Gaxiola–Castro, Hunter J, Huyer A, Hyrenbach KD, Lavaniegos BE, Mantyla AW, Schwing FB, Smith RL, Sideman WJ, Wheeler PA (2003) The state of the California Current, 2002–2003: tropical and subarctic influences vie for dominance. Calif Coop Ocean Fish Invest Rep 44:28–60
- Wyllie JG (1966) Geostrophic flow of the California Current at the surface and at 200 m. Calif Coop Ocean Fish Invest Atlas 4:1–288
- Zaytsev O, Cervantes–Duarte R, Sánchez–Montante O, Gallegos A (2003) Coastal upwelling activity on the Pacific shelf of Baja California Peninsula. J Oceanogr 59(4):489–502

Zaitsev O, Sánchez–Montante O, Robinson CJ (2007) Características del ambiente hidrofísico de la plataforma continental y zona oceánica adyacente al sistema lagunar Bahía Magdalena-Almejas. En: Funes-Rodríguez R, Gómez-Gutiérrez J, Palomares-García R (eds) Estudios ecológicos en Bahía Magdalena. CICIMAR-IPN, La Paz, Baja California Sur, México, p 29-43

# Efecto de la dinámica de las corrientes de marea en los organismos pelágicos en la boca de Bahía Magdalena

Carlos J. Robinson<sup>1,\*</sup>, Jaime Gómez–Gutiérrez<sup>2</sup>, Samuel Gómez–Aguirre<sup>3</sup>

 <sup>1</sup> Laboratorio de Ecología de Pesquerías. Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, Universidad Nacional Autónoma de México, AP. 70–305, México, DF. 04510
 <sup>2</sup> Departamento de Plancton y Ecología Marina. Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas, Instituto Politécnico Nacional, Av. IPN s/n. Col Playa Palo de Sta. Rita, AP. 592, La Paz, 23096, Baja California Sur
 <sup>3</sup> Instituto de Biología. Universidad Nacional Autónoma de México. AP. 70–305, México, DF. 04510

RESUMEN: Las corrientes de mareas desempeñan una importante función en la dinámica del ecosistema pelágico de la boca principal de Bahía Magdalena. Estimaciones de la velocidad de las corrientes de marea, por medio de ADCP, indican que la velocidad de la corriente generada por las mareas vivas se incrementa sustancialmente durante el flujo y reflujo en la boca principal de Bahía Magdalena (~150 cm s<sup>-1</sup>) en comparación con la plataforma continental adyacente y la parte interna de la bahía. Durante mareas vivas en fase de flujo, es notable el transporte hacia el interior de la bahía de agua con baja temperatura, oxígeno disuelto y fluorescencia debido a la influencia de eventos de surgencia. En contraste durante el reflujo, la región de la boca se caracteriza por un incremento en la temperatura del agua, oxígeno disuelto y fluorescencia como resultado del transporte de agua del interior hacia mar abierto. El uso de técnicas hidroacústicas junto con la utilización de videocámaras submarinas y redes de media agua (Isaacs-Kidd) revelan que la dinámica producida por las mareas tiene un efecto notable en la distribución y comportamiento del plancton, organismos micronectónicos como la langostilla (*Pleuroncodes planipes*) y nectónicos como la sardina del Pacífico, *Sardinops sagax*. Los resultados indican que la fase de la marea (mareas vivas vs. mareas muertas), así como de las etapas de flujo y reflujo de la corriente tienen un importante función en los cambios biológicos y oceanográficos de la región.

PALABRAS CLAVE: Mareas · Corrientes de marea · Langostilla · Sardina del Pacífico · Ecosistema pelágico

ABSTRACT: The tidal currents play a relevant role in the pelagic ecosystem dynamics in the main mouth of Bahía Magdalena. Tidal current speed estimates measured with an ADCP, show that the speed produced by flowing and ebb tides during spring tides significantly increases in the mouth of Bahía Magdalena (~150 cm s<sup>-1</sup>) compared with the continental shelf and inner part of the bay. In spring tides during flowing phase, upwelling events may occur near the region of the mouth that induce a transport of water with low temperature, low dissolved oxygen and low fluorescence toward the inner and deeper part of the bay. During ebb tides the mouth region is usually characterized with a relative increase of temperature, dissolved oxygen and fluorescence as a result of the transport of water type of the bay toward the continental shelf. The use of hydroacoustic techniques along with the use of submarine video cameras and midwater Isaacs-Kidd nets showed that the dynamic produced by the tides has a profound effect on the distribution and behaviour of plankton, micronektonic organisms like the red crab (*Pleuroncodes planipes*) and nektonic organisms like the Pacific sardine, *Sardinops sagax*. Our results showed that the phase of the tides (spring tides vs. neap tides), as well as the phases of inflow and ebb tides of the tidal currents have an essential function on the biological and oceanographic changes from the region.

KEY WORDS: Tides · Tidal currents · Red crabs · Pacific sardine · Pelagic ecosystem

#### **INTRODUCCIÓN**

Las mareas son fluctuaciones rítmicas del nivel del mar provocadas por la fuerza gravitacional de los cuerpos celestes, particularmente de la luna y el sol. Las fuerzas producto de las mareas son consideradas los pulsos de los océanos, por que determinan la dinámica del ecosistema pelágico, especialmente de las zonas costeras. Muchas actividades biológicas de organismos marinos, incluidos sus ciclos de reproducción, alimentación y comportamiento, están estrechamente asociadas con los ciclos de mareas (Grizzle 1998, Almatar et al. 2004, Skov et al. 2005). Así también, las corrientes producidas por las mareas promueven la circulación de nutrientes necesarios para la producción primaria del fitoplancton (Gentilhomme & Rich 2001). En regiones costeras, la influencia de las mareas en la vida marina es particularmente evidente y en áreas semi-cerradas como bahías y estuarios su impacto se incrementa sustancialmente (Baba et al. 2003). En este tipo de regiones, las condiciones de temperatura y salinidad y por lo tanto densidad, pueden cambiar rápidamente influenciadas por el patrón de corrientes de mareas en escalas de tiempo de horas (Gay & Vaughan 2001, Wang et al. 2003, Robinson & Gómez-Aguirre 2004). Algunos organismos responden a estos cambios con migraciones periódicas que pueden reflejarse en la distribución de corta y mediana escala temporal de los organismos (Hill 1991, Olson & Quinn 1993).

Evidencia paleoceanográfica preservada en sedimentos marinos ubicados por debajo de la capa de mínimo oxígeno frente a Bahía Magdalena indica que las tasas de acumulación de  $C_{org}$ ,  $N_{org}$ ,  $P_{org}$  y ópalo biogénico (BSi), ha sido alta desde la última glaciación (UGM, 18-22 ka) y Holoceno tardío (~ 3 ka-reciente), asociada con la posición de la celda de alta presión del Pacífico Norte que promoviendo eventos de surgencia costeras durante al menos los últimos 3 mil años (Sánchez & Carriquiry 2007). Bahía Magdalena (BM) es una zona relativamente somera influenciada por las corrientes de mareas que promueve alta productividad primaria. Su configuración geográfica se caracteriza por una estrecha comunicación entre la bahía y las aguas adyacentes del Océano Pacífico (una boca principal de 5.6 km de ancho, con una profundidad media de 40 m y con una pendiente pronunciada hacia la plataforma continental). Esta particularidad batimétrica y una amplitud de mareas de aproximadamente 3.2 m, causan que en la boca de la bahía se generen corrientes de mareas con velocidades de hasta 150 cm s<sup>-1</sup>. La complejidad en el ambiente pelágico en esta región se incrementa por la interacción de masas de agua de dos distintos ecosistemas (bahíaplataforma continental) con características oceanográficas y biológicas en ocasiones distintas (Zaytsev et al. 2003). Desde el punto de vista científico, la región de la boca es muy interesante por la intensa variabilidad a corta escala (horas a días) de las condiciones ambientales y balance hidrodinámico, flujo de nutrientes, distribución del fitoplancton, zooplancton y necton creando un ecosistema donde concurren múltiples fenómenos oceanográficos y biológicos en un área relativamente reducida (Gómez-Gutiérrez et al. 2001, Gómez–Gutiérrez & Robinson 2006, Robinson et al. 2007).

El proceso de intercambio de masas de agua, plancton y necton a través de la boca de BM ha sido estudiado por diversos autores utilizando estrategias de muestreo euleriano (Aceves-Medina et al. 1992, Palomares-García & Vera-Alejandre 1995) ó a través de la boca de la bahía con relativamente limitada resolución en escala de tiempo inferiores a horas (Aurioles-Gamboa et al. 1994, Gómez-Gutiérrez et al. 2001, Hernández-Trujillo et al. 2005, Zaytsev et al. 2003). A partir de marzo 2003 y hasta diciembre 2004 se realizó un proyecto de investigación teniendo como objetivo caracterizar la influencia de las mareas en el ecosistema pelágico de BM y su efecto en la distribución, abundancia y transporte de los organismos pelágicos. Esta investigación fue realizada abordo del B/O El Puma (UNAM) con estrategias de muestreo que comparan la dinámica oceanográfica y biológica entre mareas vivas y mareas muertas a escalas de tiempo de horas, días y semanas en diferentes estaciones del año (primavera, verano e invierno).

Bahía Magdalena se caracteriza por su gran abundancia y diversidad de organismos pelágicos. Entre las especies nectónicas dominantes en la región están la langostilla, Pleuroncodes planipes y varias especies de peces pelágicos menores como la sardina del Pacífico (Sardinops sagax), la sardina crinuda (Opisthonema spp.) y la macarela (Scomber japonicus). Estas especies son de gran importancia comercial regional por su impacto económico y social en la población de Puerto San Carlos. En particular, la langostilla es una especie considerada como un recurso potencial en la costa oeste de la península de Baja California (Aurioles-Gamboa et al. 1994, Gómez-Gutiérrez & Sánchez–Ortíz 1997). El estudio de la dinámica de las corrientes producidas por mareas y su efecto en el ecosistema pelágico ayudará a comprender la distribución y comportamiento de estas especies y su interconexión entre la zona nerítica y el interior de la bahía. Es necesario enfatizar que las especies de peces pelágicos menores que habitan en la zona son algunas de las especies más explotadas alrededor del mundo. El manejo y su conservación a largo plazo dependerán del conocimiento adquirido del comportamiento de agregación y formación de cardúmenes influenciados por la variabilidad oceanográfica y climática que afectan sus tasas de duplicación poblacional y vulnerabilidad a la pesca (Pitcher 1995, Parrish 1999, Fréon & Misund 1999).

Los resultados que se presentan pretenden integrar el estado de conocimiento actualizado de cómo los ciclos de marea pueden modificar las condiciones oceanográficas de la bahía en escalas semidiurnas (flujo vs. reflujo), diaria y semanales (mareas vivas vs. muertas). Así mismo, también presentamos algunos ejemplos de las respuestas de los organismos pelágicos a estas fluctuaciones espacio-temporales. La dinámica sobre el transporte de nutrientes y zooplancton en la boca de BM, con relación a una zona de frente que se origina entre ambos ecosistemas, es integrada y discutida ampliamente en Martínez-Gómez et al. (2007).

#### **MATERIAL Y MÉTODOS**

La información presentada corresponde a campañas oceanográficas realizadas entre marzo del 2003 y diciembre del 2004. Los resultados presentados son la integración de trabajos publicados recientemente (Robinson & Gómez–Aguirre 2004, Gómez–Gutiérrez & Robinson 2006, Robinson et al. 2007), así como análisis inéditos de la relación del patrón de mareas con especto a las capturas de la sardina del Pacifico en BM.

Se realizaron tres estrategias de muestreo, (1) Muestreo a lo largo de un transecto de 18 km de longitud localizado a lo largo de la entrada principal de BM. En este transecto el barco navegó continuamente de un extremo a otro, a una velocidad promedio de 18.5 km  $h^{-1}$  (10 nudos), (2) Muestreo en la parte interior de la bahía donde se establecieron cuatro transectos cada uno de 2.5 km de largo. Durante esta estrategia el buque navegó continuamente a 10 nudos empezando por el transecto más cercano a la boca, continuando con el siguiente y finalizando en el cuarto transecto mas interno, cuatro horas mas tarde aproximadamente. Una vez terminado este ultimo, el barco regresaba por la misma ruta terminando en el primer transecto, (3) Muestreo con el barco anclado cerca de la boca de BM (Figs. 1A,B). El año, la época del año y la duración de los muestreos para cada estrategia se presentan en la sección de resultados. Para cada una de estas estrategias se desarrolló la siguiente metodología:

Velocidad y dirección de la corriente de marea. La medición de la dirección y velocidad de la corriente se utilizó mediante el sistema perfilador acústico de corrientes Doppler (ADCP marca SonTek con tres



Fig. 1. (A) Localización de los transectos y posición de la estación de anclaje. La línea continua a lo largo de la boca representa el transecto de 18 km de largo. Las cuatro líneas perpendiculares indican la ubicación de los transectos dentro de la bahía. La estación 4 fue la ubicación del anclaje durante 24 h, (B) Perfil de la batimetría del transecto de 18 km

transductores de 250 kHz de frecuencia). El sistema fue instalado en el pozo de instrumentos del B/O El Puma a 4 m de profundidad. La tasa de repetición del pulso fue de 5 transmisiones por segundo y el tamaño de análisis de las celdas fue de 2 m. El perfil de dirección y velocidad de las corrientes se calculó a partir del estrato de 10 m de profundidad.

Registro continuo de la temperatura, fluorescencia y oxígeno disuelto a 4 m de profundidad. Los valores de temperatura (°C), fluorescencia (V) y concentración de oxígeno disuelto (mg  $O_2 l^{-1}$ ) fueron registrados cada cinco segundos utilizando un sistema de flujo continuo de agua. La temperatura se midió por medio de un CTD microcat marca SeaBird. La fluorescencia con un fluorómetro marca Turner modelo 10–AU–005–CE. Los valores de fluorescencia se informan en unidades de voltaje (V) y representan una aproximación de los valores de clorofila *a* en el ambiente. Los valores de oxígeno disuelto fueron determinados por medio de un sensor Win-Situ modelo 9000.

Muestreo oceanográfico estratificado en la columna de agua durante la estrategia con el barco anclado. La caracterización hidrográfica de la columna de agua fue descrita cada hora durante 24 horas con un CTD provisto de sensores de conductividad, temperatura y profundidad. El muestreo se realizó en la columna de agua desde superficie hasta la profundidad máxima de cada estación, separada por 5 m del fondo. Adicionalmente se obtuvieron muestras de agua con botellas tipo Niskin a diferentes profundidades (superficie, 5, 10 15, 20, 25, 30 y 50 m) para análisis de fluorescencia por medio del fluorómetro Turner y registros de oxígeno disuelto con un oxímetro marca YSI (modelo 50B, rango 0 a 19.99 mg O<sub>2</sub> l<sup>-1</sup>, precisión  $\pm$  0.1 % de valores de saturación).

Prospección hidroacústica para la estimación de la abundancia y distribución de los organismos nectónicos. Se utilizó un ecosonda científica Simrad EY–60 de haz dividido de 120 kHz de frecuencia. La tasa de repetición fue de 3 pulsos s<sup>-1</sup> (pings s<sup>-1</sup>), con una duración de 0.1 milisegundos y una longitud de 15 cm. El análisis de los datos acústicos fue interpretado por medio del programa Sonar 4 versión 5.9. Para la estimación de la abundancia de organismos se consideró que el coeficiente de dispersión del sonido en un volumen de agua ( $s_v$ ) es una medida de la eficiencia del regreso del sonido por los organismos hacia el transductor, y este fue definido por MacLennan et al. (2002) como:

$$s_v = \frac{\sum \sigma_{bs}}{V}$$

donde,  $\sigma_{bs}$  es la sección transversal de reflejo de un organismo detectado acústicamente, y (V) es el volumen de agua muestreado. El coeficiente acústico del área ( $s_a$ ) es una medida de la eficiencia de regreso del sonido dentro de un área determinada (MacLennan et al. 2002), y éste coeficiente se expresa como:

$$s_a = 4 \ \pi imes$$
 (área)<sup>2</sup> × (10  $\ \frac{s_v medio}{10}$  ) × (profundidad)

El factor de área utilizado fue millas náuticas (mn=1.852 km). El intervalo de profundidad analizado fue de 5 a 25 m. Conociendo la eficiencia del reflejo del sonido de un individuo detectado acústicamente de un cierto tamaño y especie ( $\sigma_{bs}$ ), estimamos su abundancia ( $\rho$ ) por medio de:

$$\rho = \frac{s_a}{\sigma_{sp}}$$

Los procedimientos para determinar los rangos acústicos correspondientes a tallas de peces pelágicos como la sardina del Pacífico están descritos con mayor detalle en Robinson et al. (2007).

Utilización de video cámaras submarinas y red de media agua para la identificación de los registros acústicos. Los métodos acústicos detectan fuerzas de blancos causados por organismos planctónicos y pelágicos que permiten conocer la distribución y abundancia en tiempo y espacio (vertical y horizontal). Sin embargo con esta tecnología no es posible conocer cuales especies u organismos reflejan el sonido en forma de ecos. Para este fin, se usaron dos métodos complementarios: (1) arrastres con red de media agua tipo Isaacs–Kidd (IK, apertura de boca de 2.8 2.8 m con una malla de red de media pulgad a = 1.27 cm) y (2) análisis de videos submarinos grabados por medio de una video cámara submarina (Ikelite 6002 Pro-Video-Lite II system, 50 W).

Características de las mareas en Bahía Magdalena. En BM se presentan mareas semi-diurnas con dos periodos de mareas altas y dos de mareas bajas aproximadamente de la misma altura. Sin embargo, este patrón puede variar a lo largo del año, presentándose en algunas ocasiones un comportamiento mixto, es decir, las alturas de las mareas durante un ciclo diario son distintas. La altura mínima de la marea en bajamar puede alcanzar niveles de -0.50 m por debajo del nivel medio del mar, mientras que la altura máxima calculada llega a los 2.70 m sobre el nivel medio del mar. El patrón de mareas diario para el año 2006 calculado por el programa Tides Ver. 3.8 www.arachnoid.com/tides para Puerto San Carlos, BCS (24°46′ N, 112°07′ W), muestra que los periodos de mareas vivas (rangos de marea diario > 1.5 m de altura) son más largos que los periodos de mareas muertas (rangos de marea diario < 1.5 m). Los periodos de mareas vivas tienen una duración entre ocho y diez días pero el máximo rango de mareas vivas usualmente dura unos dos días. El periodo de mareas muertas regularmente dura entre cinco y ocho días y el periodo con rango mínimo diario en la gran mayoría de los casos es de un solo día.

#### RESULTADOS

## Patrones de velocidad de la corriente, temperatura y fluorescencia

Del 17 al 19 de marzo de 2003 (periodo de mareas vivas) se realizaron cuatro recorridos del transecto de 18 km durante distintos estados de la marea en flujo y reflujo (Fig. 2). Los resultados del ADCP demostraron que las máximas velocidades de la corriente se producen en la región de la boca (Fig. 3). Durante el reflujo, la velocidad de la corriente se incrementa en la columna de agua, sobre todo en la parte exterior de la bahía. Durante el reflujo, la velocidad de la corriente también se incrementa en la región de la boca, pero no se observa el incremento de velocidad en profundidades mayores como lo observado durante la fase de flujo. En general, durante el flujo la región de mayor velocidad de corrientes estuvieron asociadas con las menores temperaturas, mientras que durante el reflujo, el agua relativamente cálida fue observada dentro de la bahía y es transportada hacia la boca. Tanto en flujo como en reflujo fue evidente la formación de un frente caracterizado por un cambio abrupto horizontal en la temperatura cerca de la superficie. Durante el flujo, el frente fue localizado dentro de la bahía (~6 km) y durante el reflujo puede ubicarse en la región de la boca o inclusive salir a la plataforma continental. El patrón de variación de la distribución de la fluorescencia con respecto a las mareas fue relativamente menos evidente que el de la temperatura. Sin embargo, se observan condiciones de baja fluorescencia con la entrada del agua desde la plataforma continental (en fase de flujo) y viceversa (en fase de reflujo). En algunas ocasiones se formó una zona con alta fluorescencia que parece ser trasportada progresivamente hacia el interior ó el exterior de la bahía en concordancia con la fase de la marea.



Fig. 2. Altura de la marea en marzo de 2003 (Puerto San Carlos, BCS). Los tramos en línea gruesa y con numeración identifican el estado de la marea durante los muestreos a lo largo del transecto de 18 km de largo. Las áreas obscuras representan periodos nocturnos



Fig. 3. Perfil de velocidad de la corriente de marea a lo largo de la entrada principal de Bahía Magdalena medida con un ADCP. Los números entre paréntesis corresponden a los estados de marea indicados en la Fig. 2. Las flechas indican la dirección de la corriente de marea (flujo ó reflujo)

## Variabilidad estacional de la velocidad de la corriente, temperatura y fluorescencia

Los resultados de la velocidad de la corriente de los cruceros de marzo, julio y diciembre del 2004 indican que la velocidad y el patrón de la intensidad de la corriente de marea en cualquier época del año es similarmente alta en la región de la boca (Fig. 4). Un patrón semejante ocurre durante mareas muertas pero con velocidades de corrientes de marea significativamente de menor intensidad <50 cm s<sup>-1</sup> (datos no mostrados). Contrariamente, la temperatura del agua varía estacionalmente de manera considerable. Sin embargo, registros continuos de alta resolución indican que existe también una notable diferencia intra–estacional cuando se comparan los datos entre mareas vivas y

150 100 50 0 Afuera Boca Adentro

Fig. 4. Variabilidad estacional de la velocidad de la corriente a 15 m de profundidad a lo largo del transecto de 18 km perpendicular a la boca de Bahía Magdalena durante las mareas vivas (máximo flujo) de marzo (línea delgada continua), julio (línea gruesa continua) y diciembre 2004 (línea punteada). Figura modificada de Gómez-Gutiérrez & Robinson (2006)

mareas muertas (Fig. 5A). Durante los cruceros realizados en diciembre de 2003 y 2004, muestran que las temperaturas a 4 m de profundidad fueron significativamente mayores en mareas vivas, en comparación a los cruceros de marzo y julio de 2004. Durante julio de 2004 existió un pronunciado contraste entre el agua fría proveniente de la plataforma continental y aguas con relativamente alta temperatura dentro de la bahía causadas probablemente por el efecto combinado de la intensa radiación solar y su notable menor profundidad. Por ejemplo, en julio 2004 durante mareas vivas el intervalo de temperatura a 4 m de profundidad fue de 14 a 18° C y unos días después, durante mareas muertas, estas temperaturas se incrementaron entre 18 y 22° C (Fig. 5A) indicando pronunciados cambios en condiciones térmicas, en ocasiones de la misma magnitud de cambio a los previamente registrados en una escala estacional.

Los valores de fluorescencia a 4 m de profundidad fueron comparativamente menores durante invierno (diciembre 2003 y 2004) y primavera, comparados con el verano (Fig. 5B). Sin embargo, durante el inicio de primavera en mareas vivas (marzo 2004), la fluorescencia llegó a tener valores tan bajos o incluso inferiores a los registrados durante diciembre 2003. Los mayores valores y los rangos más amplios de fluorescencia fueron observados durante mareas vivas en julio de 2004 (verano). En resumen, la mayor fluorescencia (como un indicador indirecto de la concentración de clorofila a) de la bahía se observó en verano, con condiciones oligotróficas en invierno y principios de la primavera. La época de transición (condiciones mesotróficas) posiblemente ocurra a finales de la primavera o inicios del verano.



Fig. 5. (A) Mediana, percentil uno y percentil tres de la temperatura registrada a 4 m de profundidad y (B) de fluorescencia durante los las fases de mareas vivas (V) y muertas (M) en diciembre del 2003, marzo, julio y diciembre del 2004.
Ambas variables fueron registradas a lo largo del transecto de 18 km perpendicular a la boca de Bahía Magdalena. Figura modificada de Gómez-Gutiérrez & Robinson (2006)

### Evidencia de eventos de surgencia en la boca de la bahía, durante el flujo de mareas

La figura 6 muestra los ecogramas de la velocidad de la corriente vertical (z) registrados con el ADCP en la columna de agua a lo largo del transecto de 18 km durante los muestreos 1 y 3 (fases de flujo) (Fig. 2). Ambos ecogramas muestran dos regiones de aproximadamente 200 a 300 m de longitud cerca de la boca con velocidades de ascenso del agua de hasta 35 cm s<sup>-1</sup>. Para corroborar la presencia de eventos de surgencia y evitar ser confundidos con capas de dispersión causadas por organismos nectónicos migrando hacia la superficie, los ecogramas fueron comparados simultáneamente por la ecosonda Simrad EY–60. No se detectaron



Fig. 6. Velocidad de la corriente en el componente vertical (z) registrada con el ADCP sobre la entrada principal de Bahía Magdalena. Los ecogramas corresponden a los periodos de muestreos 1 y 3 indicados en la Fig. 2

concentraciones de peces o algún otro componente del necton en esa región. Estos resultados muestran la evidencia directa de que los eventos de surgencia inducidos por viento no corresponden a la periodicidad de las corrientes de marea y son evidencia de que existe una zona de surgencia acoplada al proceso de mareas en flujo y reflujo en la boca de la bahía.

#### Variabilidad circadiana de la velocidad y dirección de la corriente, temperatura y fluorescencia a lo largo de la columna de agua

Los resultados del muestreo con el buque anclado durante 24 h entre el 17 y 18 de julio del 2003 demostraron que durante el reflujo de marea la dirección de la corriente fue predominantemente hacia el suroeste (240–230°) (Fig. 7A). Esto fue particularmente evidente cerca de la superficie al comienzo del segundo periodo de reflujo, indicando que cuando el agua sale de la bahía la dirección de la corriente probablemente proviene del Este. La velocidad de la corriente en esta localidad fue considerablemente mayor durante el flujo que durante el reflujo (Fig. 7B).

A lo largo de la columna de agua, la velocidad de la corriente de marea mostró tendencias de gradientes verticales distintos. Durante el flujo, la mayor velocidad se observó entre los 10 y 20 m de profundidad, reduciéndose continuamente hacia el fondo (Fig. 8A). Durante la fase del reflujo la velocidad de la corriente fue mayor cerca de la superficie, declinando rápidamente con la profundidad y presentando un reducido gradiente con la profundidad por debajo de los 20 m (Fig. 8B). Estas observaciones indican diferentes patrones de transporte vertical de masas de agua en sentido horizontal que



Fig. 7. (A) Contornos de dirección de la corriente de marea (expresada en grados), (B) contornos de velocidad de la corriente (cm s<sup>-1</sup>). La línea continua indica la altura de la marea. Los datos corresponden al muestreo de 24 horas en la estación de anclaje cerca de la boca. Figura modificada de Robinson & Gómez-Aguirre (2004)

podrían afectar diferencialmente el transporte de nutrientes, organismos planctónicos y nectónicos durante eventos de flujo y reflujo. Es decir, estos resultados demuestran que el transporte por corrientes de mareas en flujo y reflujo en sentido vertical es un proceso asimétrico aunque siempre en la misma dirección (Figs. 8A,B).

La temperatura del agua en esta estación de anclaje estuvo modulada por la influencia de las corrientes de mareas con un patrón diferencial en sentido vertical (Fig. 9). En general, el promedio y la variabilidad temporal de la temperatura fueron mayores cerca de la superficie que cerca del fondo, donde como era predecible, la temperatura fue más fría y relativamente más estable. Durante periodos de flujo, los gradientes de temperatura en relación con la profundidad disminuyen más pronunciadamente (mayor mezcla) que durante los periodos de reflujo (mayor estratificación). La fluorescencia mostró un comportamiento similar incrementándose inmediatamente después del reflujo y decreciendo durante y después del flujo de la corriente de la marea (Fig. 10). Los valores de fluorescencia fueron más altos y variables cerca de la superficie que en el fondo. Sin embargo, es importante notar que existe un desfase entre los cambios de temperatura y fluorescencia en esa misma localidad euleriana (estación de anclaje) y el estado de la marea. Este desfase indica la magnitud de transporte de agua proveniente de zonas en donde se genera el calentamiento o el enfriamiento de las aguas en reflujo como en flujo, así como áreas de mayor fluorescencia, usualmente registrado en la parte interior de la bahía.



Fig. 8. Perfil de la velocidad de la corriente en la columna de agua: (A) fase de flujo; (1) 14:30 h, (2) 16:30 h y (3) 17:30 h. (B) fase de reflujo; (1) 20:00 h, (2) 21:00 h, (3) 22:00 h. Los datos corresponden al muestreo de 24 horas en la estación de anclaje cerca de la boca. Figura modificada de Robinson & Gómez-Aguirre (2004)

#### Variación de la concentración de oxígeno disuelto durante el flujo y reflujo de las corrientes de marea

En la figura 11 se presentan los valores de oxígeno disuelto durante el muestreo continuo con el barco anclado entre el 17 y 18 de julio del 2003. Los resultados demuestran que durante el flujo de marea, el oxígeno disuelto a lo largo de la columna de agua disminuye notablemente a partir de los 10 m de profundidad. Cuando las corrientes de marea están en fase de reflujo cerca de bajamar, estas transportan agua con relativamente alta



Fig. 9. Temperatura del agua registrada cada hora a 5 m de profundidad (línea con puntos) y a 35 m (cuadros). La grafica inferior representa la altura de la marea (m). Los datos corresponden al muestreo de 24 horas en la estación de anclaje cerca de la boca (estación 4)

concentración de oxígeno en estratos cercanos a la superficie.

#### Distribución, abundancia y comportamiento de la langostilla (*Pleuroncodes planipes*) detectada hidroacústicamente y observadas mediante cámaras submarinas

Durante la estrategia de muestreo con el barco anclado, se hicieron análisis en tiempo real de los ecogramas y observaciones con la videocámara submarina de las langostillas *in situ*. Los resultados demostraron un comportamiento dinámico de la langostilla. Durante el flujo de mareas, las langostillas se encontraron principalmente cerca de la superficie. El análisis del video indica que las langostillas se desplazaban con la corriente, mientras se alimentaban de plancton y micronecton, ajustando su nivel de profundidad por medio de movimientos rápidos de su abdomen desplazándose en sentido vertical hacia arriba. Durante el reflujo, las langostillas fueron observadas preferentemente cerca del fondo y la mayoría de ellas no mostraron evidencia de alimentación, permaneciendo casi estáticas y con



030

Horas

330

630

930

1230

2130

0.22

0.2

0.18

0.16

0.14

0.12

(0 - 1.5 m)

Marea

1230

1530

1830

Fluorescencia (volts)



Fig. 11. Oxígeno disuelto (ml O<sub>2</sub> l<sup>-1</sup>) en la columna de agua. Los datos fueron registrados durante dos periodos de flujo de marea (F) y dos periodos de reflujo (R). Los datos corresponden al muestreo de 24 horas en la estación de anclaje cerca de la boca (estación 4). Figura modificada de Robinson & Gómez-Aguirre (2004)

ocasionales movimientos de ajuste de profundidad. En resumen, durante el periodo de estudio las langostillas se desplazaron en media agua cerca de la superficie durante el flujo y tendieron a nadar hacia el fondo formando agregaciones más compactas, inmediatamente antes que se presenten las mayores velocidades de corriente de marea en reflujo.

Fig. 12. Altura de la marea en Puerto San Carlos, BCS durante marzo del 2004. En líneas negritas y con números romanos se presentan los estados de la marea cuando se hizo el muestreo a lo largo del transecto de 18 km. Las áreas obscuras representan periodos de noche

#### Variación de la distribución de peces pelágicos detectados por medio de hidroacústica, velocidad de la corriente y temperatura superficial durante el flujo y reflujo en mareas vivas

En la figura 12 se presenta el estado de la marea del 19 al 21 de marzo del 2003, donde se hicieron ocho muestreos continuos a lo largo del transecto de 18 km, utilizando la ecosonda EY-60, ADCP y registros continuos de temperatura a 4 m de profundidad. El recorrido a lo largo de cada transecto duró aproximadamente una hora, equivalente a ~ 12,000 pulsos y el análisis acústico se dividió en 255 segmentos cada uno de aproximadamente 47 pulsos (70 m horizontales de eco integración). En general, los resultados indican que los peces pelágicos detectados evitan estar dentro de la zona de máxima velocidad de la corriente de marea. Esta zona con alta velocidad de la corriente se moviliza en función de la fase (flujo-reflujo) e intensidad de la corriente de marea aunque más frecuentemente es registrada cerca de la boca que en la parte de afuera de la plataforma continental. Los datos de peces pelágicos menores de ocho transectos consecutivos indican que la mayoría de los peces fueron detectados en zonas con velocidad moderada de la corriente de marea entre 60 a 75 cm s<sup>-1</sup>. No se detectaron cardúmenes de peces en áreas con velocidades de corrientes de marea superiores de 120 cm s<sup>-1</sup> (Figs. 13 I-VIII).

Para determinar que especies constituyeron los cardúmenes responsables de estos ecos acústicos, se utilizó la red Isaacs–Kidd. De un total de 12 arrastres de media agua realizados la mayor parte de los organismos capturados fueron langostillas (n > 1000) con una

Altura de la marea (m) 1.2 П 0.8 0.4 0 VIII -0.4 19 marzo 20 marzo 21 marzo





Fig. 13. Abundancia de peces pelágicos (Ln ind. × mn<sup>2</sup>) estimada por medio de métodos hidroacústicos (eje izquierdo, barras negras). Velocidad media de la corriente de marea (cm s<sup>-1</sup>) registrada de 10 a 15 m de profundidad obtenida por medio de ADCP (eje derecho, línea continua). Temperatura (°C) registrada cada 5 segundos a 4 m de profundidad (eje derecho, línea punteada). Los números romanos indican los muestreos realizados a lo largo del transecto de 18 km indicados en la Fig. 12. El contorno gris de la figura es la batimetría a través de la boca que se muestra como referencia geográfica. Las flechas indican la dirección de la corriente de la marea para cada transecto. Figura modificada de Robinson et al. (2007)

longitud media del caparazón de 2.3 cm (rango 1.5 a 3.0 cm), entre la estación 3 y 6 de la boca e interior de BM. Se capturaron 45 sardinas del Pacífico (Sardinops sagax caeruleus) con una longitud total promedio de 18.5 cm (rango 16 a 21 cm). Los análisis de la video cámara submarina también indicaron la presencia de macarela (Scomber japonicus, aunque no fueron capturadas por la red IK).

#### Comportamiento de distribución y compactación de cardúmenes de peces pelágicos menores durante mareas vivas v muertas

En julio del 2004, la temperatura, el oxígeno disuelto y la fluorescencia a 4 m de profundidad fueron registrados cada 5 segundos en los cuatro transectos (circuitos) ubicados en la parte interior de la bahía durante 48 h en mareas vivas (2-4 julio) y durante 48 h en mareas muertas (9-11 julio). Los resultados demuestran que durante mareas vivas la temperatura fue mas fría y mas variable (mediana =  $16.2^{\circ}$ C, rango  $14.8-20.4^{\circ}$ C) que durante mareas muertas (mediana =  $20.0^{\circ}$ C, rango =  $18.2-23.4^{\circ}$ C) (Mann–Whitney, p < 0.0001). Durante mareas vivas las concentraciones de oxígeno disuelto fueron mas bajas y con menor variabilidad (mediana =  $6.3 \text{ mg } \text{L}^{-1}$ , rango = 3-10) que lo observado durante mareas muertas (mediana  $= 10.2 \text{ mg } L^{-1}$ , rango 7–11) (Mann–Whitney, p < 0.0001). Con respecto a la fluorescencia, los resultados indican que en mareas vivas la fluorescencia fue mas alta y mas variable (mediana = 0.18 V, rango = 0.14-0.29 V) que en mareas muertas (mediana = 0.15 V, rango = 0.14-0.17 V) (Mann–Whitney, p < 0.0001). Durante estos dos ciclos de 48 h, la abundancia y distribución de los cardúmenes de peces pelágicos se registraron continuamente por medio de una prospección hidroacústica. El análisis de los datos acústicos indica que los cardúmenes de peces pelágicos responden diferencialmente a las condiciones oceanográficas observadas en mareas vivas y muertas. Durante mareas vivas los peces se congregaron en grupos o cardúmenes más grandes y densos (Fig. 14A). Es decir, durante mareas vivas los cardúmenes fueron más compactos y por lo tanto acústicamente se detectaron menos ecos individuales. Para detectar un eco individual, teóricamente los organismos debieron estar separados (distancia entre vecinos) al menos la mitad de la longitud de pulso, es decir 7.5 cm. En mareas muertas el número de ecos individuales se incrementó considerablemente indicando que los peces dentro de los cardúmenes nadaron relativamente más separados en comparación a lo observado durante mareas vivas (Fig. 14B). Finalmente, existió una diferencia significativa con respecto a la profundidad a la cual se distribuyeron los peces entre periodos. Tanto en mareas vivas y muertas, los peces pelágicos menores fueron detectados con mayor frecuencia en el estrato profundo (15 a 25 m) que en el estrato somero (5 a 10 m). Durante mareas muertas, la frecuencia de observación de peces ubicados en el estrato más profundo se incrementó significativamente (Mann-Whitney, p < 0.001) (Fig. 14C).



Fig. 14. (A) Frecuencia de observaciones de la densidad del cardúmen en mareas vivas (triángulos) y mareas muertas (círculos) (B). Número de ecos individuales durante mareas vivas (barras sombreadas) y mareas muertas (barras vacías) (C) Frecuencia de observación del total de ecos registrados en el estrato somero (S = 5-10 m de profundidad) y estrato profundo (P = 15-25 m de profundidad) durante mareas vivas (barras sombreadas) y mareas muertas (barras vacías). Los datos corresponden al muestreo de los cuatro transectos localizados

en la parte profunda de Bahía Magdalena

#### DISCUSIÓN

La elevada productividad del complejo lagunar de BM ha sido atribuida en estudios recientes a (1) la importación de nutrientes por el efecto combinado del bombeo de agua subsuperficial producido por surgencias costeras inducidas por viento (Zaytsev et al. 2003, Rosales-Villa 2004, Rodríguez-Mata 2006) y (2) la elevada productividad de los manglares y pastos marinos (Acosta-Velázquez & Ruíz–Luna 2007). En este capitulo se propone que la elevada productividad de la bahía, es también favorecida por la duración de las mareas vivas que son comparativamente mayores, con respecto de las mareas muertas. Este proceso acoplado con eventos de surgencias

y la relativamente estrecha plataforma continental, permiten introducir concentraciones significativas de nutrientes que incrementan la actividad autotrófica de la parte profunda del complejo lagunar. Los resultados obtenidos durante el presente estudio sugieren que las corrientes generadas por mareas vivas pueden ser el efecto físico de mayor impacto ecológico en los cambios del ecosistema pelágico en el área cercana a la boca de BM. Las corrientes de mareas a escala semanales son las causantes de la mayor variabilidad de la temperatura y fluorescencia, dentro de una misma época del año. En particular, fue notable la variabilidad entre mareas vivas y muertas que fue del orden de días en julio del 2004 (Gómez-Gutiérrez & Robinson 2006). La influencia de las mareas en julio del 2004, durante diferentes estados de la marea se generaron escenarios contrastantes que se asemejan más a la escala de variabilidad estacional registrada por Lluch-Belda et al. (2000).

Las corrientes de marea que se generan en la boca de BM durante mareas vivas pueden ser tan intensas como 150 cm s<sup>-1</sup> que se corroboran con mediciones y estimaciones de modelación numérica, previamente realizada en la boca de la bahía (Obeso-Nieblas et al. 1999, Zaytsev et al. 2003, Sánchez-Montante 2004). En el presente estudio se presenta evidencia directa (ADCP) del transporte vertical de agua (afloramiento) cerca de la boca de BM. Las velocidades verticales fueron detectadas durante periodos de flujos en mareas vivas y es evidente que ocurre de manera rápida y relativamente de forma más esporádica de lo que previamente se había supuesto. Lo cual fue comprobado por que solamente en dos ocasiones se detectó un proceso de advección vertical de agua de manera evidente, en ese mismo transecto que fue recorrido varias veces (cada 4.5 h) en diferentes épocas del año. Los mecanismos y procesos físicos que generaron estos eventos de surgencia en la entrada de la bahía son discutidos por Zaytsev et al. (2003), pero es sin duda un aspecto que amerita más investigación científica en el futuro. Es probable que existan varios mecanismos físicos involucrados en éste proceso. Sin embargo, éstos usualmente han sido inferidos con relativamente pocas mediciones y observaciones directas (índices de surgencia costera, velocidad de la corriente inferida de altura de la marea, pendiente y ancho de la plataforma continental).

Las corrientes de mareas permiten el transporte de fitoplancton y zooplancton a través de la boca de manera periódica y prolongada (Gómez–Gutiérrez et al. 2001, Gómez–Gutiérrez & Robinson 2006, Martínez–Gómez et al. 2007). El transporte continuo ha conducido a una serie de respuestas adaptativas de los organismos del necton de aprovechar eficientemente las corrientes de marea, ya sea para alimentarse directamente del plancton que es transportado o, para incrementar la posibilidad de encontrar alimento en diferentes zonas. Las corrientes que generan las mareas son utilizadas selectivamente por algunos organismos para transportarse, mientras que la periodicidad es regulada por el ciclo de la marea. Este transporte selectivo posiblemente permite la disminución del gasto energético y para algunas especies, puede ser parte vital de su ciclo reproductivo y/o alimenticio (Forward & Tankersley 2001).

Los resultados indican que la langostilla, además de ser posiblemente la especie más abundante en el micronecton de la región, tiene un comportamiento selectivo a las corrientes de marea, penetrando en la bahía a media agua durante el flujo y alimentándose del plancton que es trasportado (Robinson & Gómez-Aguirre 2004). La langostilla tiende a permanecer cerca del fondo durante el reflujo, mientras que cerca de la superficie se desarrollan las corrientes de marea con mayor velocidad. Estos crustáceos no tienen la suficiente capacidad natatoria para contrarrestar las intensas corrientes de marea y en ocasiones pueden ser arrastradas hasta la playa, formando varamientos masivos en las playas internas de las islas Margarita y Magdalena (Aurioles-Gamboa et al. 1994).

Las mareas y los efectos físicos y biológicos que generan, tienen una función relevante en la distribución de los peces pelágicos en este complejo lagunar, sin embargo esto no había sido previamente evaluado en la región (Robinson et al. 2000). Durante los muestreos que se hicieron a lo largo del transecto de 18 km de largo, no se detectaron peces pelágicos mediante detección acústica en áreas donde las corrientes de mareas fueron superiores a 120 cm s<sup>-1</sup>. Esto puede ser debido al menos a dos factores: el primero, es la disponibilidad de oxígeno disuelto. Durante las corrientes de marea en flujo, aguas con bajas concentraciones de oxígeno disuelto (< 4 ml l-<sup>1</sup>) penetran al complejo lagunar. Aunque estas condiciones no son consideradas hipóxicas (<1.5 ml l<sup>-1</sup>), pueden ser condiciones estresantes para algunas especies de peces pelágicos que usualmente requieren elevadas cantidades de oxígeno disuelto (Blaxter & Holliday 1963). Sin embargo, tampoco se detectaron agregaciones o cardúmenes de peces en zonas con alta velocidad de la corriente durante el reflujo, cuando aguas relativamente bien oxigenadas provenientes de zonas someras prevalecen cerca de la boca. El segundo factor puede ser entonces la velocidad de la corriente per se. El elevado costo energético de los peces pelágicos menores que significaría mantenerse en regiones con alta velocidad de corrientes de marea, así como, la dificultad de alimentarse sugiere que puede ser ineficiente, adaptativamente, permanecer en estas regiones altamente hidrodinámicas. Por lo tanto puede ser más eficiente que los cardúmenes permanezcan en corrientes de marea relativamente lentas, donde puedan llevar sus actividades básicas con una demanda energética promedio. Observaciones similares se han confirmado para varias especies de peces en otros sistemas costeros, en las cuales los peces modifican su posición vertical u horizontal de acuerdo a la dirección y velocidad de la corriente, balanceando el gasto energético de la búsqueda de su alimento con la biomasa ingerida (Greer et al. 1978, Aprahamian et al. 1998). Es importante enfatizar que aunque no se detectaron agregaciones de peces durante el flujo de marea en áreas con alta velocidad de corriente de marea, observaciones visuales de sardinas en aquas superficiales indican que los peces no

abandonan el área, si no que probablemente migran hacia la superficie, fuera de la detección acústica (superficie a 5 m) donde el contenido de oxígeno es relativamente mayor y la velocidad de la corriente se reduce durante el flujo (Robinson et al. 2007).

El constante transporte de agua con características oceanográficas distintas permite que se formen frentes de marea caracterizados por la abrupta diferencia de temperatura, oxígeno y fluorescencia en un área relativamente reducida. Estos frentes de marea, mas comúnmente observados durante mareas vivas, son zonas con relativamente alta concentración de zooplancton que permiten la congregación de peces pelágicos menores y otros depredadores que se alimentan de estos organismos. El desarrollo del frente, sus características y su relación con el zooplancton son discutidos ampliamente por Martínez-Gómez et al. (2007). La prospección acústica de alta resolución temporal y espacial permitió describir el comportamiento de los cardúmenes de peces, concluyendo que la dinámica de corrientes que son promovidas por los ciclos de marea, puede tener repercusiones en la actividad pesquera local. Es importante enfatizar que aunque la estimación de la abundancia acústica de la sardina del Pacifico no difirió significativamente entre periodos de mareas vivas y muertas; la densidad y tamaño de los cardúmenes, así como la profundidad a la cual se distribuyeron, mostraron un patrón diferencial de acuerdo a los cambios ambientales particulares de cada periodo. Estos cambios de comportamiento posiblemente tienen un efecto directo en la capturabilidad de la sardina en BM, incrementándose la probabilidad de obtener mayores capturas durante mareas vivas (Robinson CJ observación personal). Sin embargo, debido a que la flota pesquera tiene actividades en toda la bahía e inclusive la plataforma continental, muy probablemente este efecto oceanográfico no tenga un impacto relevante en la captura total. No obstante, la naturaleza cíclica del proceso de marea, hace que este comportamiento pueda ser relativamente predecible en zonas con baja velocidad de corriente y agregación en la zona frontal, de acuerdo a la modelación de la frecuencia e intensidad de mareas vivas durante el año.

Los resultados presentados en este capitulo se enfocan a la zona de la boca y aproximadamente 8 km hacia dentro de la bahía, por lo tanto no es posible conocer cual es el alcance del efecto de las corrientes de mareas y su influencia en la partes someras de la bahía o sobre la plataforma continental. Sin embargo, los resultados indican que los frentes de marea se detectan frecuentemente en la zona interna de la bahía. Esto sugiere que la mayor parte de la cuenca profunda de BM puede estar directamente influenciada por las condiciones físicas generadas por las corrientes de mareas. En este capitulo no se presentan los resultados de los frentes de marea en un sentido transversal al transecto de 18 km. Sin embargo, otros resultados obtenidos utilizando estrategias diferentes de muestreo dentro de la bahía, indican que los frentes de marea, también se forman de forma transversal al transecto y que normalmente se observan durante el reflujo (Martínez-Gómez et al. 2007).

Bahía Magdalena es un área que representa el refugio y la zona de alimentación y crianza de muchas especies de peces marinos (De la Cruz-Agüero et al. 1994). Los resultados que se han presentado en este capitulo demuestran que es una región altamente hidrodinámica en la cual los ciclos de marea, tienen una función primordial en los aspectos físicos y biológicos del ecosistema pelágico. Estimaciones simultáneas de biomasa de la fauna nectónica entre la bahía y plataforma continental, así como la estimación acústica de la biomasa de peces pelágicos menores dentro de la bahía, son temas prioritarios de investigación científica de la región. Con el desarrollo de la tecnología de etiquetas electrónicas, posiblemente en un futuro próximo, sea posible monitorear sardinas y langostillas para seguir su recorrido individual, para tener una visión conceptual mas fina y precisa de los mecanismos de transporte y de la relevancia de esta zona, dentro del ciclo de vida de las especies. Es fundamental estudiar el efecto de las corrientes de marea en la biota pelágica en la parte interna y externa de la bahía, aunque su implementación tecnológica en una plataforma de muestreo distinta al B/O El Puma representa un reto científico y tecnológico para las generaciones futuras.

Agradecimientos. Al momento de escribir este capitulo el Dr. Samuel Gómez-Aguirre se nos adelantó en el camino. En reconocimiento como amigo y colaborador del proyecto, dedicamos este trabajo a su memoria como recuerdo de su calidez humana y sus grandes cualidades como profesor y científico; esas cualidades que muy pocas ocasiones tenemos la oportunidad de conocer en colaboradores igracias Maestro! Este trabajo es el resultado de varios cruceros oceanográficos de investigación donde participaron estudiantes de la UNAM y la UABCS que valiosamente ayudaron a alcanzar los objetivos propuestos. Agradecemos de manera especial al Dr. Invgar Emilson, coordinador de los buques oceanográficos de la UNAM por su apoyo y profesionalismo los cuales permitieron el desarrollo de la campañas oceanográficas. A la Dra. Cecilia-Venegas y Dr. René Funes-Rodríquez por su invaluable apoyo en tierra. Este trabajo fue sustancialmente mejorado gracias a las sugerencias de 2 árbitros anónimos y los editores. Los cruceros oceanográficos fueron parcialmente financiados por la DGAPA de la UNAM, proyectos: PAIIT y CGPI 20040013 del IPN. Los autores son becarios del SNI y JGG es becario COFAA y EDI del IPN.

#### LITERATURA CITADA

- Aceves–Medina G, Saldierna–Martínez RJ, Hernández–Rivas ME (1992) Variación diurna de la abundancia de larvas de peces en la boca de Bahía Magdalena, Baja California Sur, México. Rev Inv Cient 3:61–70
- Acosta–Velázquez J, Ruíz–Luna A (2007) Variación en la cobertura, distribución y estructura de los manglares del complejo lagunar Bahía Magdalena-Bahía Almejas (1990-2005). En: Funes-Rodríguez R, Gómez-Gutiérrez J, Palomares-García R (eds) Estudios ecológicos en Bahía Magdalena. CICIMAR-IPN, La Paz, Baja California Sur, México, p 127-141

- Almatar SM, Lone KP, Abu–Rezq TS, Yousef AA (2004) Spawning frecuency, fecundity, egg weight and spawning type of silver pomfret, *Pampus argentus* (Euphrasen) (Stromateidae), in Kuwait waters. Ecology (Washington) 86:1164–1171
- Aprahamian MW, Jones GO, Gough PJ (1998) Movements of adult Atlantic salmon in the Usk estuary, Wales. J Fish Biol 53:221–225
- Aurioles–Gamboa D, Castro–Gonzalez MI, Pérez–Flores R (1994) Annual mass stranding of pelagic red crabs *Pleuroncodes planipes* (Crustacea: Anomura: Galatheidae), in Bahía Magdalena, Baja California Sur, México. Fish Bull US 92:464–470
- Baba E, Kawarada H, Nishijima W, Okada M, Suito H (2003) Waves and tidal flat ecosystems. Springer. London
- Blaxter, JH, Holliday FG (1963) The behaviour and physiology of herring and other clupeids. En: Russell FS (ed), Adv Mar Biol, London: Academic Press, p 262–372
- De la Cruz–Agüero J, Galván–Magaña F, Abitia–Cárdenas L, Rodríguez–Romero J, Gutierrez–Sánchez FJ (1994) Lista sistemática de los peces marinos de Bahía Magdalena, Baja California Sur, México. Cienc Mar 20:17–31
- Forward RB, Tankersley RA (2001) Selective tidal–stream transport of marine animals. Oceanogr Mar Biol Annu Rev 39:305– 353
- Fréon P, Misund OA (1999) Dynamics of pelagic fish distribution and behaviour: effects on fisheries and stock assessment. USA: Fishing News Books
- Gay SM, Vaughan SL (2001) Seasonal hydrography and tidal currents of bays and fjords in Prince William Sound, Alaska. Fish Oceanogr 10:159–193
- Gentilhomme V, Rich M (2001) Periodic ammonium pulses: are they important for the uptake kinetics of *Isochrysis galbana*? Hidrobiologia 459:223–231
- Gómez–Gutiérrez J, Sánchez–Ortíz CA (1997) Larval drift and population structure of the pelagic phase of *Pleuroncodes planipes* (Simpson) (Crustacea: Galatheidae) off the southwest coast of Baja California, México. Bull Mar Sci 61:305– 326
- Gómez–Gutiérrez J, Robinson CJ (2006) Tidal current transport of epibenthic swarms of the euphausiid Nyctiphanes simplex in a shallow subtropical bay in Baja California Sur, México. Mar Ecol Prog Ser 320:215–231
- Gómez–Gutiérrez J, Palomares–García R, Hernández–Trujillo S, Carballido–Carranza A (2001) Community structure of zooplankton in the main entrance of Bahía Magdalena, México during 1996. Rev Biol Trop 49:545–558
- Greer WM, Harden J, Arnold GP (1978) The movements of the plaice (*Pleuronectes platessa* L.) tracked in the open sea. Journal du Conseil international pour l'Exploration de la Mer 38:58–86
- Grizzle RE (1988) Preliminary studies on the effects of tidal currents, food concentration, and sediment characteristics on ontogenetic growth of *Mercenaria mercenaria*. J Shellfish Res 7:120–127
- Hernández–Trujillo S, Zarate–Villafranco A, Esqueda–Escarcega GM (2005) Estudio inicial de la distribución vertical de biovolumen del zooplancton en Bahía Magdalena, Baja California Sur, México. Oceánides 20:9–16
- Hill AE (1991) A mechanism for horizontal zooplankton transport by vertical migration in tidal currents. Mar Biol 111(3):485–492
- Lluch-Belda D, Hernández-Rivas ME, Saldierna-Martínez RJ,

Guerrero–Caballero R (2000) Variabilidad de la temperatura superficial del mar en Bahía Magdalena. Oceánides 15:1– 23

- MacLennan DN, Fernandes PG, Dalen J (2002) A consistent approach to definitions and symbols in fisheries acoustics. ICES J Mar Sci 59:365–369
- Martínez–Gómez S, Gómez–Gutiérrez J, Robinson CJ (2007) Transporte de agregaciones de zooplancton a través de la boca de Bahía Magdalena asociado a corrientes y frentes de marea. En: Funes-Rodríguez R, Gómez-Gutiérrez J, Palomares-García R (eds) Estudios ecológicos en Bahía Magdalena. CICIMAR-IPN, La Paz, Baja California Sur, México, p 189-203
- Obeso–Nieblas M, Gaviño–Rodríguez JH, Jiménez–Illescas AR (1999) Modelación de la marea en el sistema lagunar Bahía Magdalena–Almejas, B.C.S., México. Oceánides 14:79–88
- Olson AF, Quinn TP (1993) Vertical and horizontal movements of adult chinook salmon *Oncorhynchus tshawytscha* in the Columbia River estuary. Fish Bull 91:171–178
- Palomares–García JR, Vera–Alejandre R (1995) Predation upon larvae of the Pacific sardine *Sardinops sagax* by cyclopods copepods. J Crust Biol 15:196–201
- Parrish JK (1999) Using behavior and ecology to exploit schooling fishes. Environ Biol Fish 55:157–181
- Pitcher TJ (1995) The impact of pelagic fish behaviour on fisheries. Scient Mar 59:295–306
- Robinson CJ, Gómez–Aguirre S (2004) Tidal use by the red crab *Pleuroncodes planipes* in Bahía Magdalena, México. J Exp Mar Biol Ecol 308:237–252
- Robinson CJ, Gómez–Aguirre S, Gómez–Gutiérrez J (2007) Pacific sardine behaviour related to tidal current dynamics in Bahía Magdalena, México. J Fish Biol 71:1-19
- Robinson CJ, Gómez–Gutiérrez J, Félix–Uraga R, Arenas– Fuentes V (2000) Seasonal hydroacoustical observations of small pelagic fish behaviour in Magdalena Bay, México. Aquat Living Resour 13:11–18
- Rodríguez–Mata LM (2006) Estudio a microescala de los nutrientes y variables hidrológicas en Bahía Magdalena, B.C.S., México. Tesis de Maestría, Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas, La Paz, BCS, México
- Rosales–Villa AR (2004) Dinámica de nutrimentos en Bahía Magdalena, B.C.S., México. Tesis de Maestría, Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas, La Paz, BCS, México
- Sánchez A, Carriquiri JD (2007) Acumulación de  $C_{\rm org},\,N_{\rm org},\,P_{\rm org}\,y$ BSi en la margen de Magdalena, BCS (México), durante los últimos 26 ka. Cienc Mar 33(1):23-35
- Sánchez-Montante O (2004) Hidrodinámica y transporte de masa en el sistema lagunar de Bahía Magdalena-Bahía Almejas, Baja California Sur, México: Modelación y experimentación. Tesis de doctorado, Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas, La Paz, BCS, México
- Skov MW, Hartnoll RG, Ruwa RK, Shunula J, Vannini P, Cannicci S (2005) Marching to a different drummer: crabs synchronize reproduction to a 14–month lunar–tidal cycle. Ecology 86:1164–1171
- Wang JD, Luo J, Ault SJ (2003) Flows, salinity, and some implications for larval transport on South Biscayne Bay, Florida. Bull Mar Sci 72:695–723
- Zaytsev O, Cervantes–Duarte R, Sánchez–Montante O, Gallegos–García A (2003) Coastal upwelling activity of the Pacific shelf of Baja California península. J Oceanogr 59:489– 502

Carlos J. Robinson CJ, Gómez–Gutiérrez J, Gómez–Aguirre S (2007) Efecto de la dinámica de las corrientes de marea en los organismos pelágicos en la boca de Bahía Magdalena. En: Funes-Rodríguez R, Gómez-Gutiérrez J, Palomares-García R (eds) Estudios ecológicos en Bahía Magdalena. CICIMAR-IPN, La Paz, Baja California Sur, México, p 45-58

# Sección II

# **Bentos**

# Composición química de los sedimentos y macroalgas del complejo lagunar Magdalena-Almejas

Durga Rodríguez–Meza<sup>1</sup>, Evgueni Choumiline<sup>2,\*</sup>, Lia Méndez–Rodríguez<sup>3</sup>, Baudilio Acosta–Vargas<sup>3</sup>, Dmitri Sapozhnikov<sup>4</sup>

> <sup>1</sup>Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional, Blvd. Juan de Dios Bátiz 250, AP. 280, Guasave, 81101, Sinaloa

<sup>2</sup> Depto. Oceanología. Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas, Instituto Politécnico Nacional,

Av. IPN s/n. Col Playa Palo de Sta. Rita, AP. 592, La Paz, 23096, Baja California Sur

<sup>3</sup> Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S.C., Mar Bermejo 195, Col. Playa Palo de Santa Rita. AP. 128, La Paz, 23090, Baja California Sur

<sup>4</sup> Instituto de V. I. Vernadsky de Geoquímica y Química Analítica, Academia de Ciencias de Rusia, Moscú, Rusia

RESUMEN: La descripción geoquímica de los ecosistemas es importante para entender su funcionamiento. Con este propósito se planteó caracterizar la composición química de los sedimentos y macroalgas del complejo lagunar Bahía Magdalena-Almejas. Cadmio, Cu, Ni, Pb y Zn se determinaron mediante absorción atómica con flama, después de la digestión ácida de las muestras. Calcio, Co, Cr, Fe, K, Sc y algunos otros elementos se midieron directamente en sub-muestras secas y homogenizadas por el análisis de activación neutrónica. Las concentraciones promedio en los sedimentos superficiales son:  $C_{org}$  0.3 %, Ca 4.0 %, Fe 1.2 %, As 11 mg kg<sup>-1</sup>, Cd 2 mg kg<sup>-1</sup>, Cr 74 mg kg<sup>-1</sup>, Cu 4 mg kg<sup>-1</sup>, Pb 4 mg kg<sup>-1</sup> y Zn 7 mg kg<sup>-1</sup>. La distribución espacial de las concentraciones de los elementos en sedimentos superficiales mostraron tres zonas de mayor enriquecimiento: (1) adyacente a las islas Margarita y Magdalena (carbonatos, Ca, Cd, Cu, Fe, Zn, Pb); (2) zona de canales (parte norte) (As, Ba, Se, U); y (3), una zona de influencia por el arroyo La Presa (parte sur) (As, Ba, Se, U). De un total de 21 especies de macroalgas marinas recolectadas en 10 sitios de muestreo a lo largo de la costa en el año 2002, destacaron por su contenido de Fe y Sc Laurencia johnstonii, Tricleocarpa fragilis, Spyridia filamentosa (Rhodophyta), Sargassum sinicola y Padina durvillaei (Phaeophyta), posiblemente asociado al aporte terrígeno, así como Ca y Sr de origen biogénico. Las principales causas del enriquecimiento de elementos en sedimentos y macroalgas se atribuyen al aporte natural de material de la erosión de las rocas metamórficas en Isla Margarita, la influencia de las surgencias costeras de la plataforma continental y el aporte de minerales fosfáticos (fosforitas) de la Formación San Gregorio vía los arroyos La Presa y Las Bramonas.

PALABRAS CLAVE: Geoquímica de elementos traza · Sedimentos · Macroalgas · Complejo lagunar Bahía Magdalena–Almejas

ABSTRACT: To understand the functioning of the ecosystem of Bahía Magdalena-Almejas lagoon complex, its geochemical description is required. The objective of this study is to characterize chemical composition of the sediments and seaweeds in this environment. Concentrations of Cd, Cu, Ni, Pb and Zn were measured by flame atomic absorption spectrophotometry after strong acid digestion of the samples. Calcium, Co, Cr, Fe, K, Sc and some other elements were measured directly from dried and homogenized subsamples by a neutron activation analysis. Average concentrations in the surface sediments are: C  $_{0.3\%}$ , Ca 4.0%, Fe 1.2%, As 11 mg kg<sup>-1</sup>, Cd 2 mg kg<sup>-1</sup>, Cr 74 mg kg<sup>-1</sup>, Cu 4 mg kg<sup>-1</sup>, Pb 4 mg kg<sup>-1</sup> and Zn 77 mg kg<sup>-1</sup>. The geographical distribution of the concentrations of the elements in the surface sediments displayed the existence of three zones with highest enrichment: (1) zone adjacent to Margarita and Magdalena islands (carbonates, Ca, Cd, Cu, Fe, Zn and Pb); (2) zone of the northern channels (As, Ba, Sc and U), and (3) zone influenced by the arroyo La Presa in southern sector (As, Ba, Sc, and U). Twenty-one species of the seaweeds were collected in 10 sites along the coast during the year 2002, and maximal contents of Fe and Sc were detected in Laurencia johnstonii, Tricleocarpa fragilis, Spyridia filamentosa (Rhodophyceae), Sargassum sinicola and Padina durvillaei (Phaeophyceae) probably associated with terrigenous input, as well as high contents of Ca and Sr of biogenic origin. The observed concentrations of the elements in sediments and seaweeds are probably due to natural input of the material, originated from the metamorphic rocks of Isla Margarita, the influence of coastal upwelling events from the continental shelf and the supply of phosphatic minerals (the phosphorites) of San Gregorio Formation by the arroyos La Presa and Las Bramonas.

 $KEYWORDS: Geochemistry \ of \ trace \ elements \cdot Sediments \cdot Seaweeds \cdot Bahía \ Magdalena-Almejas \ lagoon \ complex$ 

#### INTRODUCCIÓN

El complejo lagunar de Bahía Magdalena-Almejas es el sistema lagunar más importante del noroeste Mexicano debido a su considerable extensión y alta productividad biológica, que lo convierte en un activo centro pesquero (Félix-Uraga et al. 1996). El complejo lagunar está localizado en la región suroeste de la península de Baja California y ha sido objeto de estudios geoquímicos debido a sus características naturales (Álvarez-Arellano 1995, Shumilin et al. 2005). Entre los rasgos geológicos más relevantes destaca la presencia de formaciones San Gregorio, San Isidro y Comondú (con las rocas metamórficas, sedimentarias y volcánicas) en la parte peninsular y el aporte periódico de nutrientes y probablemente algunos metales traza, por eventos de surgencias costeras forzadas por viento en la plataforma continental.

Existen evidencias de la ocurrencia de enriquecimientos naturales o antropogénicos de los sedimentos marinos costeros en ciertas áreas de esta península con As, Cd, Co, Cu, Ni, Zn y elementos del grupo de las tierras raras, que son originados por yacimientos costeros de minerales submarinos en San Juan de la Costa (Álvarez-Arellano 1989), por litología costera, influencia de zonas con surgencias costeras inducidas por viento como en Bahía de Vizcaíno (Daesslé y Carriquiry 1998), por la actividad antropogénica como en la región minera de Santa Rosalía (Shumilin et al. 2000) o a causa de la existencia de las fuentes geo o hidrotermales en Bahía Concepción (Prol-Ledesma et al. 2004).

La composición química y mineralógica de los sedimentos del complejo lagunar Magdalena-Almejas está sujeta a la influencia natural de los aportes de minerales fosfatados (apatita) provenientes de los estratos de fosforitas, transportados desde la cuenca de drenaje, al igual que los productos de la erosión de las rocas metamórficas de la Isla Margarita (Álvarez-Arellano 1995, Rodríguez-Meza 2005, Shumilin et al. 2005). El efecto antropogénico hasta el momento es aparentemente reducido aunque no ha sido evaluado a detalle. Sin embargo, este sistema no está exento de posible alteración de sus niveles naturales debido a la creciente demanda de los recursos pesqueros, las actividades turísticas y la descarga de los desechos generados por la procesadora de atún de Puerto San Carlos, así como la creciente población de Puerto López Mateos y San Carlos. Esta actividad humana, probablemente puede afectar la productividad y riqueza biológica de este cuerpo de agua, sino se realizan esfuerzos por conocer las condiciones naturales, como es la línea base para el contenido de metales. Algunas particularidades hidrodinámicas e hidroquímicas de este complejo lagunar están relacionadas con: (1) el intercambio de agua entre el complejo lagunar y la plataforma continental a través de los canales La Bocana, Rehusa y La Gaviota, periódicamente acoplado con los eventos de surgencias costeras (Zaitsev et al. 2003, Rosales-Villa 2004, Rodríguez-Mata 2006); y (2) el posible aporte de material disuelto y particulado desde las extensas áreas de manglares.

Hasta el momento, no hay reportes publicados de la bioacumulación de metales o metaloides en la biota marina de este ecosistema; sin embargo, una primera aproximación de este aspecto se refiere al contenido de metales en moluscos bénticos de este complejo lagunar (Méndez-Rodríquez et al. 2007). Por ello, los principales objetivos de este estudio incluye (1) la caracterización geoquímica de los sedimentos superficiales del complejo lagunar Magdalena-Almejas, (2) evaluación preliminar de la capacidad de bioacumulación de elementos mayores y traza en macroalgas marinas de este cuerpo de agua. De esta forma se determinan las concentraciones de elementos químicos y las zonas de mayor concentración, con el fin de identificar las especies susceptibles de emplearse como bioindicadores de la concentración de elementos traza de importancia ambiental en las aguas de este sistema lagunar en un futuro.

#### **MATERIALES Y MÉTODOS**

**Descripción del área del estudio.** El complejo lagunar de Bahía Magdalena-Almejas se localiza en la margen costera suroeste de la península de Baja California (Fig. 1), que comprende una región semidesértica con clima seco, semi-cálido a muy cálido. La precipitación total anual es menor a 100 mm, con la mayor frecuencia de las lluvias en verano a causa del paso de los ciclones tropicales que generan episódicamente aportes del agua dulce y de material sedimentario, en su mayoría por las cuencas de drenaje Hiray, La Presa y El Datilar (Murillo de Nava 1997) (Fig. 2).

La cuenca de drenaje de la parte de la península adyacente al complejo lagunar cubre parcialmente cuatro formaciones geológicas (Álvarez- Arrellano, 1995; Anónimo 1999, Umhoefer et al. 2001): (1) la Formación Tepetate (Paleoceno a Eoceno) constituida por arenisca y arcillas turbidíticas; (2) la Formación San Gregorio (Oligoceno superior a Mioceno inferior) compuesta por sílice (diatomita), sedimentos fosfáticos, calcáreos y tobáceos; (3) la Formación San Isidro (Mioceno medio) integrada por un miembro inferior de lutita con unas capas gruesas de arena; y (4) la Formación Comondú (Mioceno superior) formada por areniscas y conglomerados con fragmentos volcánicos (Fig. 3). Además de las formaciones descritas anteriormente, Isla Margarita (superficie de 220 km²) está constituida por rocas ofiolíticas (Triásico Superior-Jurásico) y una cubierta turbíditica metasedimentaria probablemente del Cretácico, donde existen relativamente pequeños depósitos de magnesita y magnetita (Anónimo 1999) (Fig. 3).

El complejo lagunar en su zona noroeste muestra profundidad promedio de 3.5 m (incluye esteros, lagunas y canales). Su parte central se caracteriza por mayores profundidades (~38 m) y se comunica con la plataforma continental adyacente por el canal La Bocana. La zona



Fig. 1. Mapa geológico del complejo lagunar de Bahía Magdalena-Almejas, B.C.S. (Tomado de Anónimo 1982)



Fig. 2. Mapa hidrológico de la porción central de la cuenca Magdalena Purísima-Iray (tomado y modificado de Murillo de Nava 1997)



Fig. 3. Localización de las estaciones de muestreo de los sedimentos superficiales y material terrígeno en el complejo lagunar Magdalena-Almejas (Anónimo 1996)

sureste es somera y comprende Bahía Almejas. Acosta-Ruíz y Lara-Lara (1978) estimaron, en un ciclo de marea, que las velocidades de las corrientes oscilan en 22.5 cm s<sup>-1</sup> en flujo máximo y en 20 cm s<sup>-1</sup> en reflujo de mareas muertas. En Puerto Alcatraz y Canal Rehusa, la marea tiene un comportamiento semidiurno mixto con un intervalo de 1.06 m y 1.01 m. En el canal La Bocana la velocidad del flujo alcanza 109 cm s<sup>-1</sup>, en el canal la Gaviota 52 cm s<sup>-1</sup>, con dirección noroeste-sureste y en el Canal Rehusa 50 cm s<sup>-1</sup> (Obeso Nieblas et al. 1999).

El área oceánica adyacente al sistema lagunar de Bahía Magdalena-Almejas es una zona típica de surgencias costeras estacionales (Zaytsev et al. 2003), que inyecta nutrientes al sistema durante el flujo de la marea (Martinez-Gómez et al. 2007, Robinson et al. 2007, Zaitsev et al. 2007). Se estima por estos autores que la intensidad máxima de la actividad de las surgencias ocurre en primavera, como consecuencia de los vientos dominantes y la pendiente batimétrica en el talud continental. Esto ha contribuido a que el sistema se considere entre uno de los más productivos del noroeste de México.

Recolecta de sedimentos superficiales. Durante el período del 31 de agosto al 4 de septiembre de 1998 se recolectaron 110 muestras de sedimentos superficiales con una draga Van Veen al interior del complejo lagunar de Bahía Magdalena-Almejas (Figura 3). Cada estación fue geoposicionada con un GPS marca "Magellan-2". Las muestras se colocaron en bolsas de plástico y se almacenaron en hielo. Además se analizó la composición del material terrígeno en 31 estaciones ubicadas en la cuenca de drenaje y de las islas Margarita y Magdalena. Durante marzo y junio del 2002 se recolectaron macroalgas en 10 estaciones mediante buceo autónomo. Los ejemplares se guardaron en bolsas de plástico y se preservaron en refrigeración hasta su separación y lavado en el laboratorio. Las especies fueron identificadas con ayuda de claves taxonómicas.

**Preparación de las muestras y análisis.** Las muestras de sedimentos y macroalgas se secaron en un horno a

una temperatura de 60° C. El sedimento fue fraccionado para análisis granulométrico y químico. El tamaño de grano de la fracción arenosa de los sedimentos (-0.25 a 4  $\Phi$ ) se determinó con la técnica de Folk (1974), utilizando tamices con un intervalo de 0.5  $\Phi$  y un equipo "Rotap" (Sieve Shaker, Mod. RX86, serie 19042). Se obtuvieron los parámetros granulométricos de los sedimentos (media, desviación estándar y sesgo) que indican el tipo de sedimento, su grado de clasificación relacionado con el nivel de energía que actúa sobre el sedimento y predominio de grano.

La metodología y los resultados de las determinaciones de los carbonatos y carbono orgánico ( $C_{org}$ ) se describen detalladamente en Shumilin et al. (2005). La base del método es la transformación del C<sub>org</sub> o carbono total al bióxido de carbono en el flujo del oxígeno en un horno con la temperatura de 850 °C, la absorción del CO<sub>2</sub> por la solución acuosa de Ba (OH)<sub>2</sub> de la concentración inicial

conocida y la titulación coulonométrica del hidróxido de bario para conocer cantidad del  $CO_2$  producido del carbono total o del  $C_{org}$ .

El contenido de elementos traza fue determinado mediante dos métodos de análisis: (1) activación neutrónica; y (2) espectrometría de absorción atómica. Para ello, el sedimento y las macroalgas fueron homogenizadas en morteros de ágata para trabajar con la fracción menor a 0.2 mm. En el método de análisis por activación neutrónica, la muestra junto con materiales de referencia, fue irradiada con neutrones termales (flujo 2.8 x  $10^{13}$  n s<sup>-1</sup> cm<sup>-2</sup>) (Shumilin et al. 2005). Los elementos examinados fueron Fe, Ca, K (elementos mayores) y As, Ba, Br, Co, Cr, Cs, Hf, Rb, Sb, Sc, Se, Sr, Ta, Th, U y Zr (elementos traza). Los estándares empleados fueron de sedimento marino IAEA-356 y SDN-1/2, ambos de la Agencia Internacional de Energía Atómica (Tabla 1).

 Tabla 1. Material de referencia de sedimentos marinos SDN-1/2 y IAEA-356. Concentración promedio e intervalo de los elementos analizados por instrumental activación neutrónica

$\begin{array}{c c c c c c c c c c c c c c c c c c c $		SDN-	1/2	_	IAEA-	356	_
$\begin{array}{c c c c c c c c c c c c c c c c c c c $	Flomonto	Valor	Valor	Recuperación	Valor	Valor	Recuperación
$\begin{array}{c ccccccccccccccccccccccccccccccccccc$	Liemento	obtenido	certificado	(%)	obtenido	certificado	(%)
$\begin{array}{c c c c c c c c c c c c c c c c c c c $	Fe (%)	<u>3.5 - 3.7</u>	<u>3.53 - 3.78</u>	98.6	<u>2.6 - 2.8</u>	<u>2.25 - 2.51</u>	113.3
$\begin{array}{c ccccccccccccccccccccccccccccccccccc$	10 (70)	3.6	3.6	00.0	2.7	2.4	110.0
K (%) $0.3$ $8.9$ K (%) $0.3$ $0.3$ $0.3$ $0.3$ As (mg kg <sup>-1</sup> ) $51 - 90.3$ $42.4 - 60$ $136.5$ $33.5 - 38.9$ $22.6 - 30$ $132.3$ Ba (mg kg <sup>-1</sup> ) $200 - 395$ $276 - 310$ $103.3$ $555 - 650$ $457 - 594$ $107.7$ Br (mg kg <sup>-1</sup> ) $0.3 - 3.3$ Co (mg kg <sup>-1</sup> ) $1.5$ Co (mg kg <sup>-1</sup> ) $11.1 - 22$ $112.17$ $109$ $13.9 - 15.3$ $14.1 - 16.4$ $97.8$ Cr (mg kg <sup>-1</sup> ) $13.2$ $112.17$ $109$ $13.9 - 15.3$ $14.1 - 16.4$ $15$ $97.8$ Cr (mg kg <sup>-1</sup> ) $3.2 - 5.6$ $4.1 - 5.4$ $92.5$ $5.3 - 5.7$ $44.6$ $118$ Hf (mg kg <sup>-1</sup> ) $5.3 - 7.7$ $7.45 - 8.8$ $78$ $2.3 - 2.9$ $2.76 - 3.15$ $88.1$ Bk (mg kg <sup>-1</sup> ) $3.2 - 5.6$ $4.1 - 5.4$ $2.6$ $80.8 - 91.3$ $63.3 - 78$ $122.4$ Sb (mg kg <sup>-1</sup> ) $3 - 5.5$ $3.7 - 3.36$ $103.1$ $5.8 - 8.0$ $7.27 - 9.1$ $8.3$ $86.3$ Sc (mg kg <sup>-1</sup> ) $3 - 65.5$ $74.47$ $88.2$ $80.8 - 91.3$ $65.3 - 78$ $122.4$ Sb (mg kg <sup>-1</sup> ) $3 - 5.5$ $3.3 - 3.95$ $103.1$ $5.8 - 8.0$ $7.27 - 9.1$ $8.3$ $86.3$ Sc (mg kg <sup>-1</sup> ) $0.6 - 5.8$ $2.3 - 378$ $115.2$ $0.4 - 0.6$ $0.4 - 1.58$ $6$	Ca (%)	<u>2.0 - 5.1</u>	<u>5.12 - 5.6</u>	75.2	<u>9.1 - 9.8</u>	<u>8.11 - 9.68</u>	104.9
K (%) $0.94 - 1.39$ $0.94 - 1.39$ $68.3$ As (mg kg <sup>-1</sup> ) $51 - 90.3$ $42.4 - 60$ $136.5$ $33.5 - 38.9$ $22.6 - 30$ $132.3$ Ba (mg kg <sup>-1</sup> ) $200 - 395$ $276 - 310$ $103.3$ $555 - 650$ $457 - 594$ $107.7$ Br (mg kg <sup>-1</sup> ) $0.3 - 3.3$ Co (mg kg <sup>-1</sup> ) $11.5 - 22$ $11.2 - 12.7$ $109$ $13.9 - 15.3$ $14.1 - 16.4$ $97.8$ Cr (mg kg <sup>-1</sup> ) $122.1$ $112 - 12.7$ $109$ $13.9 - 15.3$ $14.1 - 16.4$ $97.8$ Cr (mg kg <sup>-1</sup> ) $122.1$ $112 - 12.7$ $109$ $13.9 - 15.3$ $14.1 - 16.4$ $97.8$ Cr (mg kg <sup>-1</sup> ) $122.1$ $112 - 12.7$ $109$ $13.9 - 15.3$ $14.1 - 16.4$ $97.8$ Cr (mg kg <sup>-1</sup> ) $99.7 - 144.4$ $125 - 161$ $82.6$ $66.8 - 72$ $62.9 - 74.4$ $99.4$ Cs (mg kg <sup>-1</sup> ) $3.2 - 5.6$ $4.1 - 5.4$ $92.5$ $5.3 - 5.7$ $4.13 - 7.47$ $118$ Hf (mg kg <sup>-1</sup> ) $6.6 - 77$ $7.45 - 8.8$ $78$ $2.2 - 2.9$ $2.76 - 3.15$ $88.1$ Sb (mg kg <sup>-1</sup> ) $3 - 5.5$ $74.4$ $88.2$ $80.8 - 91.3$ $63.3 - 78$ $122.4$ Sb (mg kg <sup>-1</sup> ) $3 - 5.5$ $77.4$ $88.2$ $80.8 - 91.3$ $63.3 - 78$ $122.4$ Sb (mg kg <sup>-1</sup> ) $3 - 5.5$ $77.4$ $88.2$ $80.8 - 72.7 - 9.1$ $8.3$ Sc (mg kg <sup>-1</sup> ) $3.2 - 2.9$ $77.7 - 303$ $7.7$ $7.6$ $6.9$ $102.9$ <td>( )</td> <td>4</td> <td>5.3</td> <td></td> <td>9.3</td> <td>8.9</td> <td></td>	( )	4	5.3		9.3	8.9	
As (mg kg <sup>-1</sup> ) $51 - 90.3$ $68.3$ $42.4 - 60$ $50$ $136.5$ $33.5 - 38.9$ $35.6$ $22.6 - 30$ $26.9$ $132.3$ Ba (mg kg <sup>-1</sup> ) $200 - 395$ $298.6$ $276 - 310$ $209.6$ $103.3$ $555 - 650$ $590$ $457 - 594$ $548$ $107.7$ Br (mg kg <sup>-1</sup> ) $0.3 - 3.3$ $1.5$ Co (mg kg <sup>-1</sup> ) $11.1 - 22$ $12.2$ $11.2 - 12.7$ $12.1$ $109$ $13.9 - 15.3$ $14.7$ $14.1 - 16.4$ $15$ $97.8$ Cr (mg kg <sup>-1</sup> ) $99.7 - 144.4$ $123.1$ $125 - 161$ $149$ $82.6$ $66.8 - 72$ $69.4$ $62.9 - 74.4$ $69.8$ $99.4$ Cs (mg kg <sup>-1</sup> ) $3.2 - 5.6$ $4.5 - 44.9$ $41.5 - 54$ $4.9$ $2.5$ $53 - 5.7$ $5.4$ $41.6 - 7.47$ $4.6$ $118$ Hf (mg kg <sup>-1</sup> ) $6.6$ $6.5$ $74.4$ $7.7$ $7.5 - 8.8$ $3.6 - 37$ $88.2$ $86.9 - 71$ $7.2$ $86.9 - 71$ $86.9 - 71$ $122.4$ Sb (mg kg <sup>-1</sup> ) $3 - 5.5$ $3.7.7$ $3.3 - 3.95$ $3.6 - 103.1$ $5.8 - 8.0$ $7.27 - 9.1$ $8.3$ $86.3$ Sc (mg kg <sup>-1</sup> ) $3.6 - 5.8$ $3.3 - 2.9$ $115.2$ $0.5 - 0.5$ $0.4 - 1.58$ $0.5$ $68.4$ Sr (mg kg <sup>-1</sup> ) $34 - 465$ $277 - 303$ $291$ $79.7$ $131.7$ $7.5$ $131.7$ $164 - 202$ $0.5$ $77.5$ $0.6$ Ta (mg kg <sup>-1</sup> ) $0.3 - 1.2$ $0.9$ $0.83 - 1.2$ $1.1$ $0.4 - 0.6$ $0.5$ $0.4 - 0.5$ $0.6$ $83.1$ Th (mg kg <sup>-1</sup> ) $0.3 - 1.2$ $0.9$ $0.83 - 1.2$ $1.1$ $0.4 - 0.7$ $0.5$ <t< td=""><td>K (%)</td><td>-</td><td>-</td><td>-</td><td><u>0.7 - 1.1</u></td><td>0.94 - 1.39</td><td>68.3</td></t<>	K (%)	-	-	-	<u>0.7 - 1.1</u>	0.94 - 1.39	68.3
As (mg kg <sup>-1</sup> ) $312 \cdot 303$ $286.5$ $42.4 \cdot 100$ $268.3$ $136.5$ $33.3 \cdot 3.5.6$ $26.9$ $22.0 \cdot 305$ $26.9$ $132.3$ Ba (mg kg <sup>-1</sup> ) $200 \cdot 395$ $298.6$ $276 \cdot 310$ $289$ $103.3$ $555 \cdot 650$ $590$ $457 \cdot 594$ $548$ $107.7$ Br (mg kg <sup>-1</sup> ) $0.3 \cdot 3.3$ $1.5$ Co (mg kg <sup>-1</sup> ) $11.1 \cdot 22$ $13.2$ $11.2 \cdot 12.7$ $12.1$ $109$ $13.9 \cdot 15.3$ $14.1 \cdot 16.4$ $14.7$ $14.1 \cdot 16.4$ $14.7$ $97.8$ Cr (mg kg <sup>-1</sup> ) $97.7 \cdot 144.4$ $123.1$ $125 \cdot 161$ $149$ $82.6$ $66.8 \cdot 72$ $69.4$ $62.9 \cdot 74.4$ $69.4$ $99.4$ Cs (mg kg <sup>-1</sup> ) $3.2 \cdot 5.6$ $4.5$ $4.1 \cdot 5.4$ $4.9$ $92.5$ $5.3 \cdot 5.7$ $5.4 \cdot 4.6$ $4.13 \cdot 7.47$ $4.6$ $118$ Hf (mg kg <sup>-1</sup> ) $5.3 \cdot 7.7$ $6.6$ $7.45 \cdot 8.8$ $8.4$ $78$ $2.3 \cdot 2.9$ $2.6$ $2.76 \cdot 3.15$ $3.3$ $88.1$ Rb (mg kg <sup>-1</sup> ) $65.5$ $7.4$ $7.45 \cdot 8.8$ $7.4$ $78$ $2.3 \cdot 2.9$ $2.6$ $7.6 \cdot 3.15$ $3.3$ $88.1$ Sb (mg kg <sup>-1</sup> ) $3 \cdot 5.5$ $3.7$ $3.3 \cdot 3.95$ $3.6$ $103.1$ $5.8 \cdot 8.0$ $7.27 \cdot 9.1$ $8.6 \cdot 9$ $727 \cdot 9.1$ $8.6 \cdot 9$ Se (mg kg <sup>-1</sup> ) $0.6 \cdot 5.8$ $3.3$ $2.3 \cdot 3.78$ $2.9$ $115.2$ $0.4 \cdot 0.6$ $0.5$ $0.4 \cdot 1.58$ $0.8$ $68.4$ Sr (mg kg <sup>-1</sup> ) $3.4 \cdot 465$ $232$ $277 \cdot 303$ $2.9$ $79.7$ $55 \cdot 175$ $131.7$ $77.5$ Ta (mg kg <sup>-1</sup> ) $0.3 \cdot 1.2$ $0.9$ $0.8$		51 00 2	12 1 60		0.9	1.3	
300 - 395 298.6303 - 305 289103.355.5 - 650 590457 - 594 548107.7Br (mg kg <sup>-1</sup> ) $0.3 - 3.3$ 1.5Co (mg kg <sup>-1</sup> ) $11.1 - 22$ 12.2 $11.2 - 12.7$ 12.1109 $13.9 - 15.3$ 14.7 $14.1 - 16.4$ 1597.8Cr (mg kg <sup>-1</sup> ) $99.7 - 144.4$ 123.1 $125 - 161$ 14982.6 $66.8 - 72$ 69.4 $69.4$ 69.4 $69.8$ 69.899.4Cs (mg kg <sup>-1</sup> ) $3.2 - 5.6$ 4.5 $4.1 - 5.4$ 4.992.5 $5.3 - 5.7$ 5.4 $4.13 - 7.47$ 4.6118Hf (mg kg <sup>-1</sup> ) $5.3 - 7.7$ 6.6 $7.45 - 8.8$ 8.478 $2.3 - 2.9$ 2.6 $2.76 - 3.15$ 3.688.1Rb (mg kg <sup>-1</sup> ) $35.5$ 3.7 $3.3 - 3.95$ 3.6 $103.1$ $5.8 - 8.0$ 7.2 $7.27 - 9.1$ 8.3 $86.3$ Sc (mg kg <sup>-1</sup> ) $3 - 5.5$ 3.7 $3.3 - 3.95$ 3.6 $103.1$ $5.8 - 8.0$ 7.2 $7.27 - 9.1$ 8.3 $86.3$ Sc (mg kg <sup>-1</sup> ) $6.6 - 7.2$ 7 7.7 $6.9 - 7.21$ 7.1 $98.4$ $7 - 7.2$ 7.1 $6.75 - 9.94$ 6.9 $102.9$ Se (mg kg <sup>-1</sup> ) $0.6 - 5.8$ 3.3 $2.3 - 3.78$ 2.9 $115.2$ 0.6 $0.4 - 0.6$ 0.5 $0.4 - 1.58$ 0.8 $68.4$ Sr (mg kg <sup>-1</sup> ) $0.3 - 1.2$ 0.9 $0.83 - 1.2$ 1.1 $0.83 - 1.2$ 0.5 $0.6 - 7.6$ 0.6 $6.85 - 7.2$ 7.9 $7.1$ 7.5 $7.3 - 10.7$ 8.5 $6.24 - 6.92$ 6.6 $127.9$ <td>As (mg kg<sup>-1</sup>)</td> <td><u>68 3</u></td> <td><u>42.4 - 00</u> 50</td> <td>136.5</td> <td><u>35.0 - 30.9</u> 35.6</td> <td>22.0 - 30</td> <td>132.3</td>	As (mg kg <sup>-1</sup> )	<u>68 3</u>	<u>42.4 - 00</u> 50	136.5	<u>35.0 - 30.9</u> 35.6	22.0 - 30	132.3
Ba (mg kg <sup>-1</sup> ) $\frac{210}{298.6}$ $\frac{10}{239}$ $103.3$ $\frac{205}{590}$ $\frac{107}{54k}$ $107.7$ Br (mg kg <sup>-1</sup> ) $\frac{0.3 - 3.3}{1.5}$ Co (mg kg <sup>-1</sup> ) $\frac{11.1 - 22}{13.2}$ $11.2 - 12.7$ $109$ $\frac{13.9 - 15.3}{14.7}$ $14.1 - 16.4$ $97.8$ Cr (mg kg <sup>-1</sup> ) $\frac{99.7 - 144.4}{123.1}$ $125 - 161$ $82.6$ $\frac{66.8 - 72}{69.4}$ $\frac{69.2}{69.8}$ $99.4$ Cs (mg kg <sup>-1</sup> ) $\frac{32 - 5.6}{4.5}$ $\frac{4.1 - 5.4}{4.9}$ $92.5$ $\frac{5.3 - 5.7}{5.4}$ $\frac{4.13 - 7.47}{4.6}$ $118$ Hf (mg kg <sup>-1</sup> ) $\frac{5.3 - 7.7}{6.6}$ $\frac{7.45 - 8.8}{8.4}$ $78$ $\frac{2.3 - 2.9}{2.6}$ $\frac{2.76 - 3.15}{3.4}$ $88.1$ Rb (mg kg <sup>-1</sup> ) $\frac{43.2 - 80.2}{65.5}$ $\frac{68.6 - 77}{74.4}$ $88.2$ $\frac{80.8 - 91.3}{7.2}$ $\frac{63.3 - 78}{7.1}$ $122.4$ Sb (mg kg <sup>-1</sup> ) $\frac{3 - 5.5}{3.7}$ $\frac{3.3 - 3.95}{3.6}$ $103.1$ $\frac{5.8 - 8.0}{7.2}$ $\frac{7.27 - 9.1}{8.3}$ $86.3$ Sc (mg kg <sup>-1</sup> ) $\frac{6.6 - 7.2}{7}$ $6.9 - 7.21$ $98.4$ $\frac{7 - 7.2}{7.1}$ $6.75 - 9.94$ $102.9$ Se (mg kg <sup>-1</sup> ) $\frac{34 - 465}{232}$ $277 - 303$ $79.7$ $\frac{55 - 175}{131.7}$ $164 - 202$ $77.5$ Ta (mg kg <sup>-1</sup> ) $\frac{0.3 - 1.2}{0.9}$ $0.83 - 1.2$ $0.5$ $0.6$ $83.1$ $0.5$ $0.6$ Th (mg kg <sup>-1</sup> ) $0.3 - 1.2$ $0.83 - 1.2$ $0.7 - 3.5$ $0.6$ $83.1$ Th (mg kg <sup>-1</sup> ) $0.3 - 1.2$ $2.27 - 2.53$ $145.5$ $2.1 - 4.9$ $2.4 - 3.5$ $6.6$ <t< td=""><td></td><td>200 - 395</td><td>276 - 310</td><td></td><td>555 - 650</td><td>457 - 594</td><td></td></t<>		200 - 395	276 - 310		555 - 650	457 - 594	
Br (mg kg <sup>-1</sup> ) $\frac{0.3 - 3.3}{1.5}$ Co (mg kg <sup>-1</sup> ) $\frac{11.1 - 22}{13.2}$ $\frac{11.2 - 12.7}{13.2}$ 109 $\frac{13.9 - 15.3}{14.7}$ $\frac{14.1 - 16.4}{15}$ 97.8Cr (mg kg <sup>-1</sup> ) $\frac{99.7 - 144.4}{123.1}$ $\frac{125 - 161}{149}$ 82.6 $\frac{66.8 - 72}{69.4}$ $\frac{62.9 - 74.4}{69.8}$ 99.4Cs (mg kg <sup>-1</sup> ) $\frac{3.2 - 5.6}{4.5}$ $\frac{4.1 - 5.4}{4.9}$ 92.5 $\frac{5.3 - 5.7}{5.4}$ $\frac{4.13 - 7.47}{4.6}$ 118Hf (mg kg <sup>-1</sup> ) $\frac{5.3 - 7.7}{6.6}$ $\frac{7.45 - 8.8}{8.4}$ 78 $\frac{2.3 - 2.9}{2.6}$ $\frac{2.76 - 3.15}{3}$ 88.1Rb (mg kg <sup>-1</sup> ) $\frac{43.2 - 80.2}{65.5}$ $\frac{68.6 - 77}{74.4}$ 88.2 $\frac{80.8 - 91.3}{86.9}$ $\frac{63.3 - 78}{71}$ 122.4Sb (mg kg <sup>-1</sup> ) $\frac{3 - 5.5}{3.7}$ $\frac{3.3 - 3.95}{3.6}$ 103.1 $\frac{5.8 - 8.0}{7.2}$ $\frac{7.7 - 9.1}{8.3}$ 86.3Sc (mg kg <sup>-1</sup> ) $\frac{6.6 - 7.2}{7}$ $\frac{6.9 - 7.21}{7.1}$ 98.4 $\frac{7 - 7.2}{7.1}$ $\frac{6.75 - 9.94}{6.5}$ 102.9Se (mg kg <sup>-1</sup> ) $\frac{0.6 - 5.8}{3.3}$ $\frac{2.3 - 3.78}{2.9}$ 115.2 $0.4 - 0.6$ $0.4 - 1.58$ 68.4Sr (mg kg <sup>-1</sup> ) $\frac{34 - 465}{232}$ $\frac{277 - 303}{291}$ 79.7 $\frac{55 - 175}{131.7}$ $164 - 202$ 77.5Ta (mg kg <sup>-1</sup> ) $0.3 - 1.2$ $0.83 - 1.2$ $0.63 - 5.0$ $0.6$ 83.1Th (mg kg <sup>-1</sup> ) $0.3 - 1.2$ $0.83 - 1.2$ $0.5$ $0.6$ 127.9U (mg kg <sup>-1</sup> ) $0.3 - 1.2$ $2.27 - 2.53$ $2.4$ $145.5$ $2.1 - 4.9$ $2.4 - 3.5$ 96	Ba (mg kg <sup>-1</sup> )	298.6	289	103.3	590	548	107.7
Br (mg kg <sup>-1</sup> ) $\overline{1.5}$ Co (mg kg <sup>-1</sup> ) $\frac{11.1 - 22}{13.2}$ $\frac{11.2 - 12.7}{12.1}$ 109 $\frac{13.9 - 15.3}{14.7}$ $\frac{14.1 - 16.4}{15}$ 97.8Cr (mg kg <sup>-1</sup> ) $\frac{99.7 - 144.4}{123.1}$ $\frac{125 - 161}{149}$ 82.6 $\frac{66.8 - 72}{69.4}$ $\frac{62.9 - 74.4}{69.8}$ 99.4Cs (mg kg <sup>-1</sup> ) $\frac{3.2 - 5.6}{4.5}$ $\frac{4.1 - 5.4}{4.9}$ 92.5 $\frac{5.3 - 5.7}{5.4}$ $\frac{4.13 - 7.47}{4.6}$ 118Hf (mg kg <sup>-1</sup> ) $\frac{5.3 - 7.7}{6.6}$ $\frac{7.45 - 8.8}{6.4}$ 78 $\frac{2.3 - 2.9}{2.6}$ $\frac{2.76 - 3.15}{3}$ 88.1Rb (mg kg <sup>-1</sup> ) $\frac{43.2 - 80.2}{6.5.5}$ $\frac{68.6 - 77}{74.4}$ 88.2 $\frac{80.8 - 91.3}{2.6}$ $\frac{63.3 - 78}{71}$ 122.4Sb (mg kg <sup>-1</sup> ) $\frac{3 - 5.5}{3.7}$ $\frac{3.3 - 3.95}{3.7}$ 103.1 $\frac{5.8 - 8.0}{7.2}$ $7.27 - 9.1$ 86.3Sc (mg kg <sup>-1</sup> ) $\frac{3 - 5.5}{7}$ $\frac{2.3 - 3.78}{7.7}$ 115.2 $0.4 - 0.6$ $0.4 - 1.58$ 68.4Sr (mg kg <sup>-1</sup> ) $\frac{34 - 465}{2.32}$ $\frac{277 - 303}{2.9}$ 79.7 $\frac{55 - 175}{131.7}$ $164 - 202$ 77.5Ta (mg kg <sup>-1</sup> ) $\frac{0.3 - 1.2}{0.9}$ $0.83 - 1.2$ $0.5$ $0.6$ 83.1Th (mg kg <sup>-1</sup> ) $\frac{6 - 7.6}{6.8}$ $\frac{6.85 - 7.2}{7}$ 97.1 $\frac{7.3 - 10.7}{8.5}$ $\frac{6.24 - 6.92}{6.6}$ U (mg kg <sup>-1</sup> ) $\frac{6 - 7.6}{6.8}$ $7 - 2.53$ $2.1 - 4.9$ $2.4 - 3.5$ 96	- ( - 1)	0.3 - 3.3	200		000	010	
$\begin{array}{c ccccccccccccccccccccccccccccccccccc$	Br (mg kg <sup>-1</sup> )	1.5	-	-	-	-	-
$\begin{array}{c} \text{C6 (inf kf ')} & 13.2 & 12.1 & 109 & 14.7 & 15 & 97.8 \\ \text{Cr (mg kg^{-1})} & \frac{99.7 - 144.4}{123.1} & \frac{125 - 161}{149} & 82.6 & \frac{66.8 - 72}{69.4} & \frac{62.9 - 74.4}{69.8} & 99.4 \\ \text{Cs (mg kg^{-1})} & \frac{3.2 - 5.6}{4.5} & \frac{4.1 - 5.4}{4.9} & 92.5 & \frac{5.3 - 5.7}{5.4} & \frac{4.13 - 7.47}{4.6} & 118 \\ \text{Hf (mg kg^{-1})} & \frac{5.3 - 7.7}{6.6} & \frac{7.45 - 8.8}{8.4} & 78 & \frac{2.3 - 2.9}{2.6} & \frac{2.76 - 3.15}{3} & 88.1 \\ \text{Rb (mg kg^{-1})} & \frac{43.2 - 80.2}{65.5} & \frac{68.6 - 77}{74.4} & 88.2 & \frac{80.8 - 91.3}{7.2} & \frac{63.3 - 78}{7.2} & 122.4 \\ \text{Sb (mg kg^{-1})} & \frac{3 - 5.5}{3.7} & \frac{3.3 - 3.95}{3.6} & 103.1 & \frac{5.8 - 8.0}{7.2} & \frac{7.27 - 9.1}{8.3} & 86.3 \\ \text{Sc (mg kg^{-1})} & \frac{6.6 - 7.2}{7} & \frac{6.9 - 7.21}{7.1} & 98.4 & \frac{7 - 7.2}{7.1} & \frac{6.75 - 9.94}{6.9} & 102.9 \\ \text{Se (mg kg^{-1})} & \frac{34 - 465}{2.32} & \frac{277 - 303}{291} & 79.7 & \frac{55 - 175}{131.7} & \frac{164 - 202}{70} & 77.5 \\ \text{Ta (mg kg^{-1})} & \frac{0.3 - 1.2}{0.9} & \frac{0.83 - 1.2}{1.1} & 82.3 & \frac{0.4 - 0.7}{0.5} & \frac{0.59 - 0.81}{0.6} & 83.1 \\ \text{Th (mg kg^{-1})} & \frac{6 - 7.6}{6.8} & \frac{6.85 - 7.2}{7} & 97.1 & \frac{7.3 - 10.7}{8.5} & \frac{6.24 - 6.92}{6.6} & 127.9 \\ \text{U (mg kg^{-1})} & \frac{2 - 7.2}{3.5} & \frac{2.27 - 2.53}{2.4} & 145.5 & \frac{2.1 - 4.9}{3.1} & \frac{2.4 - 3.5}{3.2} & 96 \end{array}$	$C_{2}$ (m m $l_{2}$ m <sup>-1</sup> )	<u>11.1 - 22</u>	<u>11.2 - 12.7</u>	100	<u>13.9 - 15.3</u>	<u>14.1 - 16.4</u>	07.0
$\begin{array}{c} {\rm Cr} ({\rm mg}\ {\rm kg}^{-1}) & \frac{99.7 - 144.4}{123.1} & \frac{125 - 161}{149} & 82.6 & \frac{66.8 - 72}{69.4} & \frac{62.9 - 74.4}{69.8} & 99.4 \\ {\rm Cs} ({\rm mg}\ {\rm kg}^{-1}) & \frac{3.2 - 5.6}{4.5} & \frac{4.1 - 5.4}{4.9} & 92.5 & \frac{5.3 - 5.7}{5.4} & \frac{4.13 - 7.47}{4.6} & 118 \\ {\rm Hf} ({\rm mg}\ {\rm kg}^{-1}) & \frac{5.3 - 7.7}{6.6} & \frac{7.45 - 8.8}{8.4} & 78 & \frac{2.3 - 2.9}{2.6} & \frac{2.76 - 3.15}{3} & 88.1 \\ {\rm Rb} ({\rm mg}\ {\rm kg}^{-1}) & \frac{43.2 - 80.2}{65.5} & \frac{68.6 - 77}{74.4} & 88.2 & \frac{80.8 - 91.3}{7.2} & \frac{63.3 - 78}{3.3} & 122.4 \\ {\rm Sb} ({\rm mg}\ {\rm kg}^{-1}) & \frac{3 - 5.5}{3.7} & \frac{3.3 - 3.95}{3.6} & 103.1 & \frac{5.8 - 8.0}{7.2} & \frac{7.27 - 9.1}{8.3} & 86.3 \\ {\rm Sc} ({\rm mg}\ {\rm kg}^{-1}) & \frac{6.6 - 7.2}{7} & \frac{6.9 - 7.21}{7.1} & 98.4 & \frac{7 - 7.2}{7.1} & \frac{6.75 - 9.94}{6.9} & 102.9 \\ {\rm Se} ({\rm mg}\ {\rm kg}^{-1}) & \frac{34 - 465}{3.3} & \frac{2.3 - 3.78}{2.32} & 215.2 & \frac{0.4 - 0.6}{0.5} & \frac{0.4 - 1.58}{0.8} & 68.4 \\ {\rm Sr} ({\rm mg}\ {\rm kg}^{-1}) & \frac{34 - 465}{2.32} & \frac{277 - 303}{2.1} & 79.7 & \frac{55 - 175}{131.7} & \frac{164 - 202}{170} & 77.5 \\ {\rm Ta} ({\rm mg}\ {\rm kg}^{-1}) & \frac{0.3 - 1.2}{0.9} & \frac{0.83 - 1.2}{1.1} & 82.3 & \frac{0.4 - 0.7}{0.5} & \frac{0.59 - 0.81}{0.6} & 83.1 \\ {\rm Th} ({\rm mg}\ {\rm kg}^{-1}) & \frac{6 - 7.6}{6.8} & \frac{6.85 - 7.2}{7} & 97.1 & \frac{7.3 - 10.7}{8.5} & \frac{6.24 - 6.92}{0.6} & 127.9 \\ {\rm U} ({\rm mg}\ {\rm kg}^{-1}) & \frac{2 - 7.2}{35} & \frac{2.27 - 2.53}{2.4} & 145.5 & \frac{3.1 - 3.4}{3.1} & \frac{3.4 - 3.5}{3.2} & 96 \end{array}$	CO (IIIg kg )	13.2	12.1	109	14.7	15	97.0
$\begin{array}{c} \text{Cr}(\text{Ing}\text{kg}^{-1}) & 123.1 & 149 & 02.5 & 69.4 & 69.8 & 03.4 \\ \text{Cs}(\text{mg}\text{kg}^{-1}) & \frac{3.2 - 5.6}{4.5} & \frac{4.1 - 5.4}{4.9} & 92.5 & \frac{5.3 - 5.7}{5.4} & \frac{4.13 - 7.47}{4.6} & 118 \\ \text{Hf}(\text{mg}\text{kg}^{-1}) & \frac{5.3 - 7.7}{6.6} & \frac{7.45 - 8.8}{8.4} & 78 & \frac{2.3 - 2.9}{2.6} & \frac{2.76 - 3.15}{3} & 88.1 \\ \text{Rb}(\text{mg}\text{kg}^{-1}) & \frac{43.2 - 80.2}{65.5} & \frac{68.6 - 77}{74.4} & 88.2 & \frac{80.8 - 91.3}{86.9} & \frac{63.3 - 78}{71} & 122.4 \\ \text{Sb}(\text{mg}\text{kg}^{-1}) & \frac{3 - 5.5}{3.7} & \frac{3.3 - 3.95}{3.6} & 103.1 & \frac{5.8 - 8.0}{7.2} & \frac{7.27 - 9.1}{8.3} & 86.3 \\ \text{Sc}(\text{mg}\text{kg}^{-1}) & \frac{6.6 - 7.2}{7} & \frac{6.9 - 7.21}{7.1} & 98.4 & \frac{7 - 7.2}{7.1} & \frac{6.75 - 9.94}{6.9} & 102.9 \\ \text{Se}(\text{mg}\text{kg}^{-1}) & \frac{0.6 - 5.8}{3.3} & \frac{2.3 - 3.78}{2.9} & 115.2 & 0.4 - 0.6 & 0.4 - 1.58 & 68.4 \\ \text{Sr}(\text{mg}\text{kg}^{-1}) & \frac{34 - 465}{232} & \frac{277 - 303}{291} & 79.7 & \frac{55 - 175}{131.7} & \frac{164 - 202}{170} & 77.5 \\ \text{Ta}(\text{mg}\text{kg}^{-1}) & \frac{0.3 - 1.2}{0.9} & 0.83 - 1.2 & 0.83 - 1.2 & 0.5 & 0.6 & 83.1 \\ \text{Th}(\text{mg}\text{kg}^{-1}) & \frac{6 - 7.6}{6.8} & \frac{6.85 - 7.2}{7} & 97.1 & \frac{7.3 - 10.7}{8.5} & \frac{6.24 - 6.92}{6.6} & 127.9 \\ \text{U}(\text{mg}\text{kg}^{-1}) & \frac{2 - 7.2}{3.5} & \frac{2.27 - 2.53}{2.4} & 145.5 & \frac{2.1 - 4.9}{3.1} & \frac{2.4 - 3.5}{3.2} & 96 \end{array}$	$Cr (ma ka^{-1})$	<u>99.7 - 144.4</u>	<u>125 - 161</u>	82.6	<u>66.8 - 72</u>	62.9 - 74.4	99.4
Cs (mg kg <sup>-1</sup> ) $\frac{3.2 - 5.6}{4.5}$ $\frac{4.1 - 5.4}{4.9}$ 92.5 $\frac{5.3 - 5.7}{5.4}$ $\frac{4.13 - 7.47}{4.6}$ 118Hf (mg kg <sup>-1</sup> ) $\frac{5.3 - 7.7}{6.6}$ $\frac{7.45 - 8.8}{8.4}$ 78 $\frac{2.3 - 2.9}{2.6}$ $\frac{2.76 - 3.15}{3}$ 88.1Rb (mg kg <sup>-1</sup> ) $\frac{43.2 - 80.2}{65.5}$ $\frac{68.6 - 77}{74.4}$ 88.2 $\frac{80.8 - 91.3}{86.9}$ $\frac{63.3 - 78}{71}$ 122.4Sb (mg kg <sup>-1</sup> ) $\frac{3 - 5.5}{3.7}$ $\frac{3.3 - 3.95}{3.6}$ 103.1 $\frac{5.8 - 8.0}{7.2}$ $\frac{7.27 - 9.1}{8.3}$ 86.3Sc (mg kg <sup>-1</sup> ) $\frac{6.6 - 7.2}{7}$ $\frac{6.9 - 7.21}{7.1}$ 98.4 $\frac{7 - 7.2}{7.1}$ $\frac{6.75 - 9.94}{6.9}$ 102.9Se (mg kg <sup>-1</sup> ) $\frac{0.6 - 5.8}{3.3}$ $2.3 - 3.78$ 115.2 $\frac{0.4 - 0.6}{0.5}$ $0.4 - 1.58$ 68.4Sr (mg kg <sup>-1</sup> ) $\frac{34 - 465}{232}$ $\frac{277 - 303}{291}$ 79.7 $\frac{55 - 175}{131.7}$ $\frac{164 - 202}{170}$ 77.5Ta (mg kg <sup>-1</sup> ) $\frac{0.3 - 1.2}{0.9}$ $0.83 - 1.2$ $82.3$ $0.4 - 0.7$ $0.59 - 0.81$ 83.1Th (mg kg <sup>-1</sup> ) $\frac{6 - 7.6}{6.8}$ $\frac{6.85 - 7.2}{7}$ $97.1$ $\frac{7.3 - 10.7}{8.5}$ $6.24 - 6.92$ 127.9U (mg kg <sup>-1</sup> ) $\frac{2 - 7.2}{3.5}$ $2.27 - 2.53$ $145.5$ $\frac{2.1 - 4.9}{3.1}$ $3.2$ $96$	CI (IIIg Kg )	123.1	149	02.0	69.4	69.8	55.4
$\begin{array}{c ccccccccccccccccccccccccccccccccccc$	Cs (ma ka <sup>-1</sup> )	3.2 - 5.6	<u>4.1 - 5.4</u>	92.5	<u>5.3 - 5.7</u>	4.13 - 7.47	118
Hf (mg kg <sup>-1</sup> ) $\frac{5.3 - 7.7}{6.6}$ $\frac{7.45 - 8.8}{8.4}$ 78 $\frac{2.3 - 2.9}{2.6}$ $\frac{2.76 - 3.15}{3}$ 88.1Rb (mg kg <sup>-1</sup> ) $\frac{43.2 - 80.2}{65.5}$ $\frac{68.6 - 77}{74.4}$ 88.2 $\frac{80.8 - 91.3}{86.9}$ $\frac{63.3 - 78}{71}$ 122.4Sb (mg kg <sup>-1</sup> ) $\frac{3 - 5.5}{3.7}$ $\frac{3.3 - 3.95}{3.6}$ 103.1 $\frac{5.8 - 8.0}{7.2}$ $\frac{7.27 - 9.1}{8.3}$ 86.3Sc (mg kg <sup>-1</sup> ) $\frac{6.6 - 7.2}{7}$ $\frac{6.9 - 7.21}{7.1}$ 98.4 $\frac{7 - 7.2}{7.1}$ $\frac{6.75 - 9.94}{6.9}$ 102.9Se (mg kg <sup>-1</sup> ) $\frac{0.6 - 5.8}{3.3}$ $\frac{2.3 - 3.78}{2.9}$ 115.2 $\frac{0.4 - 0.6}{0.5}$ $\frac{0.4 - 1.58}{0.8}$ 68.4Sr (mg kg <sup>-1</sup> ) $\frac{34 - 465}{232}$ $\frac{277 - 303}{291}$ 79.7 $\frac{55 - 175}{131.7}$ $\frac{164 - 202}{170}$ 77.5Ta (mg kg <sup>-1</sup> ) $\frac{0.3 - 1.2}{0.9}$ $\frac{0.83 - 1.2}{1.1}$ 82.3 $\frac{0.4 - 0.7}{0.5}$ $\frac{0.59 - 0.81}{0.6}$ 83.1Th (mg kg <sup>-1</sup> ) $\frac{6 - 7.6}{6.8}$ $\frac{6.85 - 7.2}{7}$ 97.1 $\frac{7.3 - 10.7}{8.5}$ $\frac{6.24 - 6.92}{6.6}$ 127.9U (mg kg <sup>-1</sup> ) $\frac{2 - 7.2}{3.5}$ $\frac{2.27 - 2.53}{2.4}$ 145.5 $\frac{2.1 - 4.9}{3.1}$ $\frac{2.4 - 3.5}{3.2}$ 96	(55 )	4.5	4.9		5.4	4.6	
Rb (mg kg <sup>-1</sup> ) $\frac{43.2 - 80.2}{65.5}$ $\frac{68.6 - 77}{74.4}$ $88.2$ $\frac{80.8 - 91.3}{86.9}$ $\frac{63.3 - 78}{71}$ $122.4$ Sb (mg kg <sup>-1</sup> ) $\frac{3 - 5.5}{3.7}$ $\frac{3.3 - 3.95}{3.7}$ $103.1$ $\frac{5.8 - 8.0}{7.2}$ $\frac{7.27 - 9.1}{8.3}$ $86.3$ Sc (mg kg <sup>-1</sup> ) $\frac{6.6 - 7.2}{7}$ $\frac{6.9 - 7.21}{7.1}$ $98.4$ $\frac{7 - 7.2}{7.1}$ $\frac{6.75 - 9.94}{6.9}$ $102.9$ Se (mg kg <sup>-1</sup> ) $\frac{0.6 - 5.8}{3.3}$ $\frac{2.3 - 3.78}{2.9}$ $115.2$ $0.4 - 0.6$ $0.4 - 1.58$ $68.4$ Sr (mg kg <sup>-1</sup> ) $\frac{34 - 465}{232}$ $\frac{277 - 303}{291}$ $79.7$ $\frac{55 - 175}{131.7}$ $164 - 202$ $77.5$ Ta (mg kg <sup>-1</sup> ) $0.3 - 1.2$ $0.83 - 1.2$ $82.3$ $0.4 - 0.7$ $0.59 - 0.81$ $83.1$ Th (mg kg <sup>-1</sup> ) $\frac{6 - 7.6}{6.8}$ $\frac{6.85 - 7.2}{7}$ $97.1$ $\frac{7.3 - 10.7}{8.5}$ $6.24 - 6.92$ $127.9$ U (mg kg <sup>-1</sup> ) $\frac{2 - 7.2}{3.5}$ $\frac{2.27 - 2.53}{2.4}$ $145.5$ $\frac{2.1 - 4.9}{3.1}$ $\frac{2.4 - 3.5}{3.2}$ $96$	Hf (mg kg <sup>-1</sup> )	<u>5.3 - 7.7</u>	7.45 - 8.8	78	<u>2.3 - 2.9</u>	2.76 - 3.15	88.1
Rb (mg kg <sup>-1</sup> ) $\frac{43.2 - 80.2}{65.5}$ $\frac{08.0 - 77}{74.4}$ $88.2$ $\frac{00.8 - 91.3}{86.9}$ $\frac{03.3 - 76}{71}$ $122.4$ Sb (mg kg <sup>-1</sup> ) $\frac{3 - 5.5}{3.7}$ $\frac{3.3 - 3.95}{3.6}$ $103.1$ $\frac{5.8 - 8.0}{7.2}$ $\frac{7.27 - 9.1}{8.3}$ $86.3$ Sc (mg kg <sup>-1</sup> ) $\frac{6.6 - 7.2}{7}$ $\frac{6.9 - 7.21}{7.1}$ $98.4$ $\frac{7 - 7.2}{7.1}$ $\frac{6.75 - 9.94}{6.9}$ $102.9$ Se (mg kg <sup>-1</sup> ) $\frac{0.6 - 5.8}{3.3}$ $\frac{2.3 - 3.78}{2.9}$ $115.2$ $\frac{0.4 - 0.6}{0.5}$ $0.4 - 1.58$ $68.4$ Sr (mg kg <sup>-1</sup> ) $\frac{34 - 465}{232}$ $\frac{277 - 303}{291}$ $79.7$ $\frac{55 - 175}{131.7}$ $164 - 202$ $77.5$ Ta (mg kg <sup>-1</sup> ) $\frac{0.3 - 1.2}{0.9}$ $\frac{0.83 - 1.2}{1.1}$ $82.3$ $\frac{0.4 - 0.7}{0.5}$ $0.59 - 0.81$ $83.1$ Th (mg kg <sup>-1</sup> ) $\frac{6 - 7.6}{6.8}$ $\frac{6.85 - 7.2}{7}$ $97.1$ $\frac{7.3 - 10.7}{8.5}$ $6.24 - 6.92$ $127.9$ U (mg kg <sup>-1</sup> ) $\frac{2 - 7.2}{3.5}$ $\frac{2.27 - 2.53}{2.4}$ $145.5$ $\frac{2.1 - 4.9}{3.1}$ $\frac{2.4 - 3.5}{3.2}$ $96$		0.0	8.4 69.6 77		2.0	3 622 70	
Sb (mg kg <sup>-1</sup> ) $\frac{3 - 5.5}{3.7}$ $\frac{3.3 - 3.95}{3.6}$ 103.1 $\frac{5.8 - 8.0}{7.2}$ $\frac{7.27 - 9.1}{8.3}$ 86.3Sc (mg kg <sup>-1</sup> ) $\frac{6.6 - 7.2}{7}$ $\frac{6.9 - 7.21}{7.1}$ 98.4 $\frac{7 - 7.2}{7.1}$ $\frac{6.75 - 9.94}{6.9}$ 102.9Se (mg kg <sup>-1</sup> ) $\frac{0.6 - 5.8}{3.3}$ $\frac{2.3 - 3.78}{2.9}$ 115.2 $\frac{0.4 - 0.6}{0.5}$ $\frac{0.4 - 1.58}{0.8}$ 68.4Sr (mg kg <sup>-1</sup> ) $\frac{34 - 465}{232}$ $\frac{277 - 303}{291}$ 79.7 $\frac{55 - 175}{131.7}$ $\frac{164 - 202}{170}$ 77.5Ta (mg kg <sup>-1</sup> ) $\frac{0.3 - 1.2}{0.9}$ $\frac{0.83 - 1.2}{1.1}$ 82.3 $\frac{0.4 - 0.7}{0.5}$ $\frac{0.59 - 0.81}{0.6}$ 83.1Th (mg kg <sup>-1</sup> ) $\frac{6 - 7.6}{6.8}$ $\frac{6.85 - 7.2}{7}$ 97.1 $\frac{7.3 - 10.7}{8.5}$ $\frac{6.24 - 6.92}{6.6}$ 127.9U (mg kg <sup>-1</sup> ) $\frac{2 - 7.2}{3.5}$ $\frac{2.27 - 2.53}{2.4}$ 145.5 $\frac{2.1 - 4.9}{3.1}$ $\frac{2.4 - 3.5}{3.2}$ 96	Rb (mg kg <sup>-1</sup> )	<u>43.2 - 60.2</u> 65.5	<u>00.0 - 77</u> 74 4	88.2	<u>86 0</u>	<u>03.3 - 76</u> 71	122.4
Sb (mg kg <sup>-1</sup> ) $\frac{0}{3.7}$ $\frac{0.0}{3.6}$ $103.1$ $\frac{0.0}{7.2}$ $\frac{127}{7.1}$ $8.3$ $86.3$ Sc (mg kg <sup>-1</sup> ) $\frac{6.6}{7}$ $7.2$ $6.9$ $7.21$ $8.3$ $86.3$ Sc (mg kg <sup>-1</sup> ) $\frac{6.6}{7}$ $7.21$ $98.4$ $7.7.2$ $6.75 - 9.94$ $102.9$ Se (mg kg <sup>-1</sup> ) $\frac{0.6 - 5.8}{3.3}$ $2.3 - 3.78$ $115.2$ $0.4 - 0.6$ $0.4 - 1.58$ $68.4$ Sr (mg kg <sup>-1</sup> ) $\frac{34 - 465}{232}$ $277 - 303$ $79.7$ $\frac{55 - 175}{131.7}$ $164 - 202$ $77.5$ Ta (mg kg <sup>-1</sup> ) $\frac{0.3 - 1.2}{0.9}$ $0.83 - 1.2$ $82.3$ $0.4 - 0.7$ $0.59 - 0.81$ $83.1$ Th (mg kg <sup>-1</sup> ) $\frac{6 - 7.6}{6.8}$ $6.85 - 7.2$ $97.1$ $7.3 - 10.7$ $6.24 - 6.92$ $127.9$ U (mg kg <sup>-1</sup> ) $\frac{2 - 7.2}{3.5}$ $2.27 - 2.53$ $145.5$ $2.1 - 4.9$ $2.4 - 3.5$ $96$		3 - 5 5	74.4		58-80	7 27 - 9 1	
Sc (mg kg <sup>-1</sup> ) $\frac{6.6}{7}$ $\frac{6.9}{7}$ $\frac{7.7.21}{7.1}$ $98.4$ $\frac{7}{7}$ $\frac{7.7.2}{7.1}$ $\frac{6.75 - 9.94}{6.9}$ $102.9$ Se (mg kg <sup>-1</sup> ) $\frac{0.6 - 5.8}{3.3}$ $\frac{2.3 - 3.78}{2.9}$ $115.2$ $\frac{0.4 - 0.6}{0.5}$ $\frac{0.4 - 1.58}{0.8}$ $68.4$ Sr (mg kg <sup>-1</sup> ) $\frac{34 - 465}{232}$ $\frac{277 - 303}{291}$ $79.7$ $\frac{55 - 175}{131.7}$ $\frac{164 - 202}{170}$ $77.5$ Ta (mg kg <sup>-1</sup> ) $\frac{0.3 - 1.2}{0.9}$ $\frac{0.83 - 1.2}{1.1}$ $82.3$ $\frac{0.4 - 0.7}{0.5}$ $\frac{0.59 - 0.81}{0.6}$ $83.1$ Th (mg kg <sup>-1</sup> ) $\frac{6 - 7.6}{6.8}$ $\frac{6.85 - 7.2}{7}$ $97.1$ $\frac{7.3 - 10.7}{8.5}$ $\frac{6.24 - 6.92}{6.6}$ $127.9$ U (mg kg <sup>-1</sup> ) $\frac{2 - 7.2}{3.5}$ $\frac{2.27 - 2.53}{2.4}$ $145.5$ $\frac{2.1 - 4.9}{3.1}$ $\frac{2.4 - 3.5}{3.2}$ $96$	Sb (mg kg <sup>-1</sup> )	37	3.6	103.1	7 2	8.3	86.3
Sc (mg kg <sup>-1</sup> ) $\frac{10}{7}$ $\frac{11}{7.1}$ 98.4 $\frac{11}{7.1}$ $\frac{10}{6.9}$ 102.9Se (mg kg <sup>-1</sup> ) $\frac{0.6 - 5.8}{3.3}$ $\frac{2.3 - 3.78}{2.9}$ 115.2 $\frac{0.4 - 0.6}{0.5}$ $\frac{0.4 - 1.58}{0.8}$ 68.4Sr (mg kg <sup>-1</sup> ) $\frac{34 - 465}{232}$ $\frac{277 - 303}{291}$ 79.7 $\frac{55 - 175}{131.7}$ $\frac{164 - 202}{170}$ 77.5Ta (mg kg <sup>-1</sup> ) $\frac{0.3 - 1.2}{0.9}$ $\frac{0.83 - 1.2}{1.1}$ 82.3 $\frac{0.4 - 0.7}{0.5}$ $\frac{0.59 - 0.81}{0.6}$ 83.1Th (mg kg <sup>-1</sup> ) $\frac{6 - 7.6}{6.8}$ $\frac{6.85 - 7.2}{7}$ 97.1 $\frac{7.3 - 10.7}{8.5}$ $\frac{6.24 - 6.92}{6.6}$ 127.9U (mg kg <sup>-1</sup> ) $\frac{2 - 7.2}{3.5}$ $\frac{2.27 - 2.53}{2.4}$ 145.5 $\frac{2.1 - 4.9}{3.1}$ $\frac{2.4 - 3.5}{3.2}$ 96		6.6 - 7.2	6.9 - 7.21		7 - 7.2	6.75 - 9.94	
Se (mg kg <sup>-1</sup> ) $\frac{0.6 - 5.8}{3.3}$ $\frac{2.3 - 3.78}{2.9}$ 115.2 $\frac{0.4 - 0.6}{0.5}$ $\frac{0.4 - 1.58}{0.8}$ 68.4Sr (mg kg <sup>-1</sup> ) $\frac{34 - 465}{232}$ $\frac{277 - 303}{291}$ 79.7 $\frac{55 - 175}{131.7}$ $\frac{164 - 202}{170}$ 77.5Ta (mg kg <sup>-1</sup> ) $\frac{0.3 - 1.2}{0.9}$ $\frac{0.83 - 1.2}{1.1}$ 82.3 $\frac{0.4 - 0.7}{0.5}$ $\frac{0.59 - 0.81}{0.6}$ 83.1Th (mg kg <sup>-1</sup> ) $\frac{6 - 7.6}{6.8}$ $\frac{6.85 - 7.2}{7}$ 97.1 $\frac{7.3 - 10.7}{8.5}$ $\frac{6.24 - 6.92}{6.6}$ 127.9U (mg kg <sup>-1</sup> ) $\frac{2 - 7.2}{3.5}$ $\frac{2.27 - 2.53}{2.4}$ 145.5 $\frac{2.1 - 4.9}{3.1}$ $\frac{2.4 - 3.5}{3.2}$ 96	Sc (mg kg <sup>-1</sup> )	7	7.1	98.4	7.1	6.9	102.9
Se (mg kg ') $3.3$ $2.9$ $115.2$ $0.5$ $0.8$ $66.4$ Sr (mg kg ') $\frac{34 - 465}{232}$ $\frac{277 - 303}{291}$ $79.7$ $\frac{55 - 175}{131.7}$ $\frac{164 - 202}{170}$ $77.5$ Ta (mg kg ') $\frac{0.3 - 1.2}{0.9}$ $\frac{0.83 - 1.2}{1.1}$ $82.3$ $\frac{0.4 - 0.7}{0.5}$ $\frac{0.59 - 0.81}{0.6}$ $83.1$ Th (mg kg ') $\frac{6 - 7.6}{6.8}$ $\frac{6.85 - 7.2}{7}$ $97.1$ $\frac{7.3 - 10.7}{8.5}$ $\frac{6.24 - 6.92}{6.6}$ $127.9$ U (mg kg ') $\frac{2 - 7.2}{3.5}$ $\frac{2.27 - 2.53}{2.4}$ $145.5$ $\frac{2.1 - 4.9}{3.1}$ $\frac{2.4 - 3.5}{3.2}$ $96$	<b>C</b> a (m m lam <sup>-1</sup> )	<u>0.6 - 5.8</u>	<u>2.3 - 3.78</u>	115.0	0.4 - 0.6	0.4 - 1.58	60.4
Sr (mg kg <sup>-1</sup> ) $\frac{34 - 465}{232}$ $\frac{277 - 303}{291}$ 79.7 $\frac{55 - 175}{131.7}$ $\frac{164 - 202}{170}$ 77.5Ta (mg kg <sup>-1</sup> ) $\frac{0.3 - 1.2}{0.9}$ $\frac{0.83 - 1.2}{1.1}$ 82.3 $\frac{0.4 - 0.7}{0.5}$ $\frac{0.59 - 0.81}{0.6}$ 83.1Th (mg kg <sup>-1</sup> ) $\frac{6 - 7.6}{6.8}$ $\frac{6.85 - 7.2}{7}$ 97.1 $\frac{7.3 - 10.7}{8.5}$ $\frac{6.24 - 6.92}{6.6}$ 127.9U (mg kg <sup>-1</sup> ) $\frac{2 - 7.2}{3.5}$ $\frac{2.27 - 2.53}{2.4}$ 145.5 $\frac{2.1 - 4.9}{3.1}$ $\frac{2.4 - 3.5}{3.2}$ 96	Se (ing kg <sup>-</sup> )	3.3	2.9	115.2	0.5	0.8	08.4
$O(mg kg^{-1})$ $232$ $291$ $131.7$ $170$ $170$ $Ta (mg kg^{-1})$ $0.3 - 1.2$ $0.9$ $0.83 - 1.2$ $1.1$ $82.3$ $0.4 - 0.7$ $0.5$ $0.59 - 0.81$ $0.6$ $83.1$ $Th (mg kg^{-1})$ $\frac{6 - 7.6}{6.8}$ $\frac{6.85 - 7.2}{7}$ $7$ $97.1$ $\frac{7.3 - 10.7}{8.5}$ $\frac{6.24 - 6.92}{6.6}$ $127.9$ $U (mg kg^{-1})$ $\frac{2 - 7.2}{3.5}$ $\frac{2.27 - 2.53}{2.4}$ $145.5$ $145.5$ $\frac{2.1 - 4.9}{3.1}$ $\frac{2.4 - 3.5}{3.2}$ $96$	$Sr(ma ka^{-1})$	34 - 465	<u>277 - 303</u>	79 7	<u>55 - 175</u>	164 - 202	77 5
Ta (mg kg <sup>-1</sup> ) $0.3 - 1.2 \\ 0.9$ $0.83 - 1.2 \\ 1.1$ $82.3$ $0.4 - 0.7 \\ 0.5$ $0.59 - 0.81 \\ 0.6$ $83.1$ Th (mg kg <sup>-1</sup> ) $\frac{6 - 7.6 }{6.8}$ $\frac{6.85 - 7.2 }{7}$ $97.1$ $\frac{7.3 - 10.7 }{8.5}$ $\frac{6.24 - 6.92 }{6.6}$ $127.9$ U (mg kg <sup>-1</sup> ) $\frac{2 - 7.2 }{3.5}$ $\frac{2.27 - 2.53 }{2.4}$ $145.5$ $\frac{2.1 - 4.9 }{3.1}$ $\frac{2.4 - 3.5 }{3.2}$ $96$	SI (IIIg Kg )	232	291	15.1	131.7	170	77.5
Th (mg kg <sup>-1</sup> ) $\frac{6 - 7.6}{6.8}$ $\frac{6.85 - 7.2}{7}$ 97.1 $\frac{7.3 - 10.7}{8.5}$ $\frac{6.24 - 6.92}{6.6}$ 127.9         U (mg kg <sup>-1</sup> ) $\frac{2 - 7.2}{3.5}$ $\frac{2.27 - 2.53}{2.4}$ 145.5 $\frac{2.1 - 4.9}{3.1}$ $\frac{2.4 - 3.5}{3.2}$ 96	Ta (mg kg <sup>-1</sup> )	<u>0.3 - 1.2</u>	<u>0.83-1.2</u>	82.3	0.4-0.7	<u>0.59-0.81</u>	83.1
Th (mg kg <sup>-1</sup> ) $\frac{6 - 7.6}{6.8}$ $\frac{6.85 - 7.2}{7}$ 97.1 $\frac{7.3 - 10.7}{8.5}$ $\frac{6.24 - 6.92}{6.6}$ 127.9         U (mg kg <sup>-1</sup> ) $\frac{2 - 7.2}{3.5}$ $\frac{2.27 - 2.53}{2.4}$ 145.5 $\frac{2.1 - 4.9}{3.1}$ $\frac{2.4 - 3.5}{3.2}$ 96		0.9	1.1		0.5	0.6	
U (mg kg <sup>-1</sup> ) $\frac{2 - 7.2}{3.5}$ $\frac{2.27 - 2.53}{2.4}$ 145.5 $\frac{2.1 - 4.9}{3.1}$ $\frac{2.4 - 3.5}{3.2}$ 96	Th (mg kg <sup>-1</sup> )	<u>6 - 7.6</u>	<u>6.85 - 7.2</u>	97.1	<u>7.3 - 10.7</u>	<u>6.24 - 6.92</u>	127.9
U (mg kg <sup>-1</sup> ) $\frac{2.7.2}{3.5}$ $\frac{2.27-2.35}{2.4}$ 145.5 $\frac{2.1-4.9}{3.1}$ $\frac{2.4-3.5}{3.2}$ 96		6.8 0.70	/		8.5	0.0 0.4 0.5	
.1.1 /4	U (mg kg <sup>-1</sup> )	$\frac{2 - 1.2}{25}$	2.27 - 2.33	145.5	$\frac{2.1 - 4.9}{2.1}$	$\frac{2.4 - 3.5}{2.2}$	96
120 520 423 432 1110 1260 036 1010		3.3	2.4 122 122		3.1 1110 1260	036 1010	
$Zn (mg kg^{-1}) \qquad \frac{430 - 320}{4614} \qquad \frac{423 - 432}{439} \qquad 105.1 \qquad \frac{1110 - 1200}{1170} \qquad \frac{930 - 1019}{977} \qquad 119.8$	Zn (mg kg <sup>-1</sup> )	461 4	439	105.1	1170	977	119.8
110 - 370 145-395 65-260 91-206		110 - 370	145-395		65-260	91-206	
$Zr (mg kg^{-1}) = \frac{110 \text{ dot}}{190} = \frac{110 \text{ dot}}{327} = 58.1 = 00000000000000000000000000000000000$	Zr (mg kg <sup>-1</sup> )	190	327	58.1	143.3	117	122.5

La determinación de elementos por espectrometría de absorción atómica (Cd, Cu, Ni, Pb y Zn) consistió en la digestión, en contenedores de teflón, de 0.5 g de sedimentos con 5 ml agua regia (ácidos concentrados HNO, y HCl, con la razón de volúmenes 1:3, respectivamente) y 0.5 g de macroalga con 5 ml de ácido nítrico concentrado y 1 ml de ácido sulfúrico concentrado. Estos contenedores se calentaron en placas de aluminio por aproximadamente 4 h y la solución resultante se aforó con agua desionizada a 25 ml. La absorbancia de cada elemento se midió en un espectrofotómetro de absorción atómica (flama aire-acetileno), marca Buck Scientific, modelo 200A. Los materiales de referencia certificados fueron: BCSS-1 (Sedimento marino, Consejo Nacional de Investigación, Canadá), NIST 1646a (Sedimento estuarino, Instituto Nacional de Estándar y Tecnología, Gaithersburg, EUA), PACS-2 (Sedimento marino, material de referencia certificado, Consejo Nacional de Investigación, Canadá) y TORT-2 (Hepatopáncreas de langosta, Consejo Nacional de Investigación, Canadá) (Tabla 2). Los datos obtenidos de concentración en sedimentos por ambos métodos de análisis se emplearon para construir las distribuciones espaciales con el programa SURFER versión 7.4 (Surface Mapping System, Golden Software, Inc.).

A partir de los datos obtenidos se calculó el factor de enriquecimiento (FE) para identificar los elementos cuya concentración fuera anómalamente alta o baja con respecto al promedio de la corteza terrestre (Chester 2003). Para obtener los FEs de los elementos en los sedimentos, comparando con la corteza terrestre, se empleó la siguiente fórmula:

$$FE = \frac{El_{sed}}{El_{corteza}} SC_{sed}$$

donde [El] es la concentración de cada elemento y [Sc] de escandio, tanto en sedimentos del complejo lagunar como en la corteza continental cuyos datos corresponden a Taylor (1964). La concentración de los elementos fue normalizada con Sc, dada la estrecha relación geoquímica de este elemento con Al (Chester 2003). Los análisis de componentes principales (ACP) y el análisis de factores (AF) fueron utilizados (programa STATISTICA versión 6.0), con el objeto de identificar cuáles componentes (eigenvalores) explican la mayor proporción de variación de la concentración de elementos e identificar las principales áreas de acumulación (Bopp y Biggs 1981). A partir de conocer cuántos eigenvalores explican mejor la varianza, se utilizó el análisis de factores para identificar las variables que integran cada factor y si estos influyen de manera significativa en la geoquímica de los sedimentos de cada ambiente.

#### RESULTADOS

#### Características texturales de los sedimentos

Los datos de tamaño medio de grano oscilaron de  $X_{\phi}$ = -0.33 a X<sub>a</sub> = 3.26 e indican que los sedimentos en el interior del complejo lagunar varían de arena muy fina a arena muy gruesa (Fig. 4). En el interior de Bahía Magdalena y en la zona de canales (adyacente a Puerto San Carlos) predomina la arena fina. La arena muy fina se encontró en la región central de Bahía Almejas y frente a la Isla Magdalena (Punta Cove) mostrando una estrecha relación con la batimetría del complejo lagunar. En ambas bahías se encuentran pequeñas depresiones cuya profundidad oscila de 20 a 30 m, respectivamente, que probablemente favorece la depositación de la materia suspendida particulada originada por plancton, macroalgas, árboles de manglar, pastos marinos, transporte de sedimento y de los escurrimientos estacionales de la cuenca de drenaje. En cambio, de la arena muy gruesa a la arena media predominan en los sedimentos del canal La Bocana y de la zona advacente a las islas Magdalena y Margarita, debido al deposito de material proveniente de la zona nerítica advacente, o de la erosión de las rocas que caracterizan a las islas y la presencia de fragmentos de conchas de almejas (Fig. 4).

A partir del análisis de datos, el valor de la desviación estándar (grado de clasificación del sedimento) varió de

fabla 2. Material de referencia de sedimentos marinos 1646a, PACS-2 y BCSS-1. Concentración promedio (mg kg <sup>-1</sup> ) e intervalo de los
elementos, con excepción de Fe (%) que se registra como Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%), obtenidos por el método de espectrofotometría de absorción
atómica.

Elemento	1646a		PACS	-2	BCSS-1	
	Valor obtenido	Valor	Valor obtenido	Valor	Valor obtenido	Valor
		certificado		certificado		certificado
Fe	$2.67 \pm 0.19$	$2.008 \pm 0.04$	-	-	-	-
$Fe_2O_3$	-	-	$5.0 \pm 0.06$	$5.9\pm0.08$	$3.9 \pm 0.1$	$4.7 \pm 0.1$
Cd	$\mathbf{Nd}^{\mathbf{b}}$	$0.15 \pm 0.007$	$2.6 \pm 0.04$	$2.1\pm0.2$	0.58	$0.25\pm0.04$
Cu	$9.85 \pm 0.5$	$10.01\pm0.34$	$286 \pm 14$	$310 \pm 12$	$15.9 \pm 0.1$	$18.5 \pm 2.7$
Pb	$10.99 \pm 1.2$	$11.7 \pm 1.2$	$163 \pm 2.5$	$183 \pm 8$	$27.5 \pm 0.8$	$22.7 \pm 3.4$
Zn	$38.0 \pm 2.5$	$48.9 \pm 1.6$	$389 \pm 2.0$	$364 \pm 23$	$87.9 \pm 0.8$	119 ± 12
Ni	$25.1 \pm 1.6$	23 <sup>a</sup>	$41 \pm 2.1$	$40 \pm 2$	$49.4 \pm 0.4$	$55.3 \pm 3.6$



Fig. 4. Distribución espacial del tamaño de grano de los sedimentos superficiales del complejo lagunar de Bahía Magdalena-Almejas

0.36 (arena bien seleccionada) a 1.94 (arena pobremente seleccionada) y se asocia a la energía que se presenta en el ambiente. Las arenas muy finas a finas presentaron la mejor selección, mientras las arenas gruesas fueron pobremente seleccionadas, como se llega a apreciar en el Canal la Bocana y las áreas adyacentes a las islas, debido que comprenden las porciones con mayor dinámica y energía por corrientes de marea que contribuyen a que las muestras contengan variedad de tamaños. El sesgo o simetría osciló de -3.98 a 0.56, es decir, de sedimentos muy asimétricos hacia gruesos a muy asimétricos hacia finos. Los sedimentos adyacentes a las islas que están expuestos a la acción de mayor oleaje y corrientes de marea influenciados por la plataforma continental adyacente, tienden a ser asimétricos hacia los gruesos, mientras en el interior, fueron asimétricos hacia los finos debido a la moderada energía.

#### Niveles de concentraciones de componentes en sedimentos

Las concentraciones de los elementos certificados y las obtenidas en el laboratorio por la activación neutrónica para los estándares de sedimento marino IAEA-356 y SDN-1/2 se muestran en la tabla 1. Los contenidos de los metales determinados por espectrofotometría de absorción atómica, aplicando la digestión con la mezcla de los ácidos fuertes de los materiales de referencia certificados NIST 1646a, PACS-2 y BCSS-1 se presentan en la tabla 2.

La concentración promedio, desviación estándar y el intervalo de concentraciones de componentes mayores y elementos traza determinados en los sedimentos superficiales y material continental de la cuenca de drenaje del complejo Magdalena-Almejas se presentan en la tabla 3. Allí se incluyen también datos de referencia de Taylor (1964) que corresponden a la corteza terrestre.

Los carbonatos fueron el componente con la mayor concentración del complejo lagunar, cuyo intervalo osciló de 0.2% a 64% (Rodríguez-Meza 2005, Shumilin et al. 2005) (Fig. 5). El Ca es un elemento asociado a los carbonatos y por ello, tiene la más elevada concentración de los elementos estudiados (hasta 21%). Las altas concentraciones de Ca se asocian a la presencia abundante de fragmentos calcáreos en el complejo en particular, cerca de las islas Margarita y Magdalena, (Shumilin et al. 2005) y probablemente, por la presencia de carbonato fluorapatita, producto de la erosión de las fosforitas de la región. Las concentraciones de Fe (0.4% -4.0%) y K (0.1% - 9.0%), también son relativamente altas, en particular en los sedimentos obtenidos cerca de las

Elemento	Sedimento superficial		Material c	ontinental	Corteza
	Min - Max	Promedio	Min - Max	Promedio	continentalª
Componentes					
mayores					
Carbonatos (%)	0.2 - 64.0	$10 \pm 15$	-	-	-
C <sub>org</sub> (%)	0.4 - 4.0	$0.3 \pm 0.4$	-	-	-
Ca (%)	1 - 21	$4.0\pm4.0$	1 - 17	$5 \pm 4$	4.2
Fe (%)	0.4 - 4.0	$1.2 \pm 0.7$	0.1 - 12.0	$2.2 \pm 2.5$	5.6
K (%)	0.1 - 9.0	$1.3 \pm 2.0$	0.4 - 45	$6.4 \pm 9.3$	2.09
Elementos traza					
As (mg kg <sup>-1</sup> )	1 - 34	11 ± 7	0.1 - 23	5 ± 5	1.8
Ba (mg kg <sup>-1</sup> )	42 - 875	$488 \pm 165$	2 - 1125	$410 \pm 343$	425
Br (mg kg <sup>-1</sup> )	0.1 - 43.0	$2 \pm 5$	0.2 - 218.0	$15 \pm 39$	2.5
Cd (mg kg <sup>-1</sup> )	0.1 - 5.0	$2 \pm 1$	-	-	0.2
Co (mg kg <sup>-1</sup> )	1 - 20	$5 \pm 4$	0.7 - 37	$9 \pm 9$	25
Cr (mg kg <sup>-1</sup> )	14 - 1233	$74 \pm 145$	0.6 - 272	$52 \pm 54$	100
Cs (mg kg <sup>-1</sup> )	0.1 - 2.0	$0.8 \pm 0.4$	0.4 - 9.0	$2.4 \pm 2.0$	3
Cu (mg kg <sup>-1</sup> )	0.1 - 33.0	$4 \pm 4$	-	-	55
Hf (mg kg <sup>-1</sup> )	0.3 - 16.0	$3 \pm 3$	0.1 - 57.0	5 ± 11	3.0
Ni (mg kg <sup>-1</sup> )	1 - 119	$14 \pm 17$	10 - 920	$211 \pm 232$	75
Pb (mg kg <sup>-1</sup> )	0.1 - 37.0	$4 \pm 7$	-	-	12.5
Rb (mg kg <sup>-1</sup> )	2 - 75	$28 \pm 15$	0.08 - 112.7	$30.4 \pm 31.4$	90
Sb (mg kg <sup>-1</sup> )	0.06 - 11.0	$1 \pm 1$	0.1 - 3.0	$0.7 \pm 0.7$	0.2
Sc (mg kg <sup>-1</sup> )	3 - 22	$8 \pm 4$	0.4 - 35	10 ± 8	22
Se (mg kg <sup>-1</sup> )	0.3 - 6.0	$2 \pm 1$	0.1 - 11.0	$1.6 \pm 2.5$	0.05
Sr (mg kg <sup>-1</sup> )	190 - 1355	$523 \pm 246$	37 - 2380	$431 \pm 436$	375
Zn (mg kg <sup>-1</sup> )	0.1 - 53.0	7 ± 10	1 - 80	$27 \pm 27$	70
U (mg kg <sup>-1</sup> )	0.7 - 13.0	$4 \pm 2$	1 - 127	11 ± 23	2.7
Th (mg kg <sup>-1</sup> )	0.3 - 44.0	$3 \pm 4$	0.5 - 32.0	$5 \pm 6$	9.6
Ta (mg kg <sup>-1</sup> )	0.03 - 2.0	$0.4 \pm 0.4$	0.2 - 155.0	$23 \pm 49$	2.0
Zr (mg kg <sup>-1</sup> )	20 - 800	$160 \pm 127$	12 - 1200	$147 \pm 226$	165

Tabla 3. Concentración promedio, desviación estándar e intervalo de concentración de los componentes mayores y los elementos traza determinados en los sedimentos superficiales del complejo lagunar Magdalena-Almejas



Fig. 5. Distribución espacial de la concentración de carbonatos (%) en los sedimentos superficiales del complejo lagunar de Bahía Magdalena-Almejas

islas Margarita y Magdalena (Shumilin et al. 2005). En cambio, en el material terrígeno sólo destacó en concentración el K, el cual se relaciona con la presencia de silicatos y aluminosilicatos (feldespatos, micas) que son minerales comunes en la zona (Álvarez-Arellano 1995).

La concentración promedio de  $C_{org}$  en los sedimentos fue de 0.3 % (Tabla 3). En Bahía Almejas el contenido de  $C_{org}$  fue >2% como resultado del depósito en una zona somera y poco dinámica. Esta situación permiten que el material orgánico particulado como el fito-zooplancton del interior o alóctono de la zona nerítica adyacente, además de los productos de degradación parcial de las hojas de los bosques de manglar y fragmentos de macroalgas y pastos marinos, sean transportados y finalmente acumulados hacia estos lugares de alta concentración (Shumilin et al. 2005). Los sedimentos de la zona adyacente a la Isla Magdalena mostraron concentraciones de  $C_{org}$  de 0.2% a 0.4%, posiblemente relacionados con el aporte de nutrientes provenientes de la plataforma continental (Rosales-Villa 2004) que favorecen a la productividad biológica generando  $C_{_{org}}$  particulado y, en específico, benefician al crecimiento de las distintas especies de algas y pastos marinos de la región.

Los elementos traza en sedimentos que sobrepasan de 1 a 15 veces las concentraciones previamente señaladas de la corteza terrestre son As, Sb, Se Sr, y U, tanto en el material de la laguna como de las cuencas de drenaje (Figs. 6 y 7A, Tabla 3). Otros elementos enriquecidos en la cuenca de drenaje son Ca, K, Hf, Ni, Ta y Zr. Estos probablemente se asocian con la presencia de los minerales (biotita, ortoclasas y calcita). El orden de los elementos en los sedimentos, a partir de la concentración promedio, fue el siguiente: Ca> K> Fe> Sr> Ba> Zr> Cr> Rb> Ni> As> Sc> Zn> Co> Pb> U> Cu> Hf> Th> Br> Se> Cd> Sb> Cs. Esta secuencia permite identificar elementos asociados a los carbonatos como los elementos más abundantes; tal es el caso de Ca y Sr. Asimismo, se distingue la contribución continental mediante la presencia del As y U, además de Sc, Zn y Co. El aporte terrígeno en la zona es notable y se debe a la



Fig. 6. Distribución espacial de la concentración de As (mg kg<sup>-1</sup>) en los sedimentos superficiales del complejo lagunar de Bahía Magdalena-Almejas

presencia de rocas fosfatadas (Formación San Gregorio) y metamórficas. La fosforita es de gran relevancia debido al enriquecimiento natural con elementos como P, Cd, Zn, As, Se,U, lantánidos y otros (Álvarez-Arrellano 1995, Boggs 1995, Clark 1984). Las rocas metamórficas, que se encuentran principalmente en la Isla Margarita, aportan minerales ricos en Fe (magnetita) a los sedimentos (Anónimo 1982, 1999).

## Factores de enriquecimiento de elementos en sedimentos

En la Figura 8 se presentan los valores promedio del factor de enriquecimiento (FE) de los elementos calculados en sedimentos marinos y el material terrígeno de la cuenca de drenaje. Se observaron tres grupos de elementos: (1) Arsénico, Cd, Sb y Se con valores más altos del FE >10, lo cual indica que los sedimentos están altamente enriquecidos con estos elementos. Debido a la relativamente escasa actividad antropogénica, estos valores son probablemente asociados al aporte natural

del material terrígeno (en particular, la fosforita) vía los arroyos La Presa y Las Bramonas, que desembocan en el complejo lagunar (Fig. 9); (2) Bario, Br, Ca, Hf, K, Sr, U y Zr, son elementos moderadamente enriquecidos cuyo valor del FE fue <10. La fuente de algunos elementos se atribuye, al material biogénico como los carbonatos (Ca, Sr, Ba) y minerales fosfatados (Ba, U, Hf, Zr) (Fig. 10); y (3) Cobalto, Cr, Cu, Fe, Ni, Pb, Ta y Zn que son elementos cuyo valor de FE fue <1, y son definidos como conservativos o empobrecidos, probablemente atribuidos al complejo ofiolítico de las rocas metamórficas de las islas.

#### Distribución espacial de componentes mayores y elementos traza en sedimentos

Se determinó la existencia de dos zonas de alta concentración relacionadas con la influencia de las rocas metamórficas anteriormente señaladas y la hidrodinámica del cuerpo lagunar. Las zonas indicadas fueron al interior de la laguna frente a las Islas Magdalena y Almejas



Fig. 7. Distribución espacial de la concentración de A) Se (mg kg<sup>-1</sup>) y B) Cd (mg kg<sup>-1</sup>) en los sedimentos superficiales del complejo lagunar de Bahía Magdalena-Almejas



Fig. 8. Factor de enriquecimiento promedio de los elementos traza de sedimentos superficiales y material terrígeno del complejo lagunar de Bahía Magdalena-Almejas



Fig. 9. Variación espacial del factor de enriquecimiento de Se en los sedimentos superficiales y material terrígeno del complejo lagunar de Bahía Magdalena-Almejas



Fig. 10. Variación espacial del factor de enriquecimiento de U en los sedimentos superficiales y material terrígeno del complejo lagunar de Bahía Magdalena-Almejas

y la zona del Canal La Bocana. En la primera zona se determinaron concentraciones elevadas de As, Ba, Cs, Rb, Sc, Sr, Se, U, Ta y Zr, que son elementos considerados como los de mayor dispersión en el complejo lagunar debido a que tienen la mayor cobertura geográfica (Fig. 6). Es importante señalar que ambas bahías son influenciadas por los arroyos Las Bramonas y La Presa, que aportan de manera estacional material sedimentario de la Formación San Gregorio (incluyendo fosforita), lo que probablemente contribuye a que los valores de As y U sobrepasen en varios ordenes los datos de referencia (ver FEs, Fig. 8).

En la segunda zona se encontraron mayores concentraciones de los carbonatos, Ca, Fe, Cd, Co, Cr, Cu, Ni, Pb, Sc y Zn. La particularidad de encontrar estos elementos en los sedimentos adyacentes a las islas Margarita y Magdalena, probablemente se relaciona con tres factores: (1) la abundancia de los restos calcáreos del origen biogénico; (2) influencia del agua de la plataforma continental; y (3) el aporte de material continental generado por la erosión costera de las rocas específicas de la Isla Margarita. El primer factor está controlado principalmente por los bancos de moluscos cuyos fragmentos calcáreos permiten detectar Ca, Sr y Pb en los sedimentos (Fig. 5). El Cd es otro elemento que se relaciona con el aporte de fosfatos disueltos y el material orgánico a través de los eventos de surgencias costeras estacionales que se presentan en el Pacífico frente al complejo lagunar (Fig. 7B). El material continental que proviene de las rocas metamórficas enriquece los sedimentos de la zona con Fe, Co, Cu, Ni, Zn, Pb y Sc (Fig. 11). Los datos registrados de estos elementos no sobrepasan los valores de referencia de Taylor (1964) para la corteza continental, con excepción del Cd cuyo contenido en los sedimentos del complejo lagunar es 10 veces mayor en concentración con respecto a la corteza terrestre (0.2 mg kg<sup>-1</sup>) registrado por Taylor (1964).

#### Niveles de concentraciones de componentes en macroalgas marinas

En el complejo lagunar se recolectaron 21 especies de macroalgas marinas, nueve pertenecientes a la División Rhodophyta, seis a la Phaeophyta y Clorophyta cada una (Tabla 4). Las especies ampliamente distribuidas en el complejo lagunar fueron: Spyridia filamentosa, Padina durvillaei, Colpomenia tuberculata, C. sinuosa, Sargassum sinicola, Laurencia johnstonii y Ulva lactuca. En marzo del 2002, en Isla Magdalena (estación 4) se



Fig. 11. Distribución espacial de la concentración de Fe (%) en los sedimentos superficiales del complejo lagunar de Bahía Magdalena-Almejas

presentó la mayor variedad de algas incluyendo también, que en otras regiones son indicadores de impacto antropogénico como: *U. expansa*, *U. lactuca* y *Codium cunetaum*. En junio del 2002, en islas Magdalena y Margarita (estaciones 3 y 9) se presentó la mayor riqueza específica de macroalgas como son: *S. filamentosa*, *L. pacifica*, *C. tuberculata*, *P. durvillaei*, *P. capillaceae*, *R. california*, *U. lactuca* y *C. cuneatum*.

En la tabla 4 se muestra el intervalo y valor promedio de la concentración de los elementos mayores y traza en las especies de la División Rhodophyta, Phaeophyta y Chlorophyta presentes en más de una estación de muestreo. Las Rhodophytas, *Laurencia johnstonii* y *Thicleocarpa fragilis*, tuvieron las mayores concentraciones de elementos traza, seguidas de *Spyridia filamentosa*. Entre los elementos acumulados de estas especies se encuentran aquellos asociados al aporte terrígeno (Fe, Sc, Cr, Co) y a algunos biogénicos como Ca y Sr. En particular, *S. filamentosa*, presenta en promedio valores mayores de elementos como Ba, Cr, Co, Ni, Se, Th, Hf y Zr, con respecto de otras especies.

Las especies representativas de la división Phaeophyta fueron: *C. sinuosa, C. tuberculata, P. durvillaei* y *S. sinicola.* De estas, *S. sinicola* y *P. durvillaei* mostraron el más alto contenido de elementos en marzo del 2002. En *Sargassum* los elementos presentes en mayor contenido fueron: Sr, Ca, Sc, Ni, Zn, Se, As, Sb y U; en cambio en *P. durvillaei*  lo fueron el Fe, Sr, Ba, Cr, Co, Se y As. En las muestras recolectadas en junio del 2002, destaco *T. fragilis* por su relativamente alta concentración de Ca, Fe, Sr, Sc y Zr (Tabla 4). La comparación entre *C. sinuosa* y *P. durvillaei* presentan grandes diferencias. Los elementos que sobresalen en *C. sinuosa* fueron Fe, Rb, Ba, Sc, Zn, Se, Sb, Hf, Ta y Zr; y en *P. durvillaei* son el Ca, Sr, Cr, As y U; a pesar de las diferencias indicadas se encontró semejanza en el contenido de Co, Th y Br (Tabla 4).

Las Chlorophytas (*Ulva lactuca y U. expansa*) presentes en diferentes épocas del año, fueron observadas en las zonas donde es más frecuente la actividad humana (estaciones 4 y 5). Los contenidos de Ca, Sc, Cr, Fe, Co, Ni, Zn, Th, U y Hf en *U. lactuca* fueron altos con respecto a *U. expansa* (Tabla 4); sin embargo, la concentración de Cs, Sr, Se y As en ambas especies fueron semejantes (coeficiente de correlación  $r^2 > 0.9$ , p<0.05).

#### Análisis estadísticos de sedimentos y macroalgas marinas

El análisis de Componentes Principales muestra que el primer eje es responsable del 52% de la varianza y segundo del 29%, ambos explicaron el 81% de la varianza. En el primer eje, las variables que integran y contribuyen a caracterizar cada factor son los carbonatos, Ba, Sr, Sc,

Tabla 4. Intervalo de concentración y contenido promedio de elementos mayores y traza en especies de Rhodophytas, Phaeophytas y Chlorophytas del complejo lagunar	Magdalena-Almejas	
---	-------------------	--

		4	4		Magdalena-Alme	jas	1			)
		R h o d o p h y ta				Рһаеорһу	ta		Chlor	o p h y ta
Elem ento	S. filamentosa (Jun-02)	L. johnstonii (Jun-02)	T. fragilis (Mar-02)	C.sinuosa (Jun-02)	C.tuberculata (Mar-02)	P. durvillaei (Mar-02)	P. durvillaei (Jun-02)	S. sinicola (Mar-02)	U.expansa (Mar-02)	U . la ctu c a (J u n - 0 2)
Ca (%)	<u>2.5 - 3.4</u> 3	<u>1.3 - 3.6</u> 2.6	<u>10.6 - 15.8</u> 13	<u>2 - 7</u> 4	<u>4 - 5</u> 4.5	<u>3 - 6</u> 4	<u>3 - 11</u> 7	<u>3 - 8</u> 6	$\frac{0.03 - 2.0}{1}$	<u>1 - 6</u> 3
Fe (%)	0.7 - 1.0 0.9	0.005 - 1.2 0.6	$\frac{0.9 - 1.3}{1}$	$\frac{0.7 - 1.0}{1}$	0.4 - 0.8 0.6	0.4 - 1.0 0.8	$\frac{0.3 - 0.9}{0.5}$	0.08 - 0.8	0.18 - 0.20 0.2	0.2 - 1.0 0.6
As (mg kg <sup>-1</sup> )	<u>4.7 - 7.7</u> 6	9.5	<u>3.2 - 8.5</u> 6	<u>8.3 - 8.6</u> 8	$\frac{1-5}{4}$	$\frac{13 - 16}{15}$	<u>3 - 10</u> 7	<u>5 - 13</u> 8	<u>0.3 - 11</u> 6	<u>4 - 10</u> 7
Ba (mg kg <sup>-1</sup> )	125 - 195 160	<u>18 - 30</u> 24	6 - 97 5 2	78 - 245 162	$\frac{105 - 143}{123}$	<u>130 - 195</u> 163	29 - 110 60	<u>22 - 56</u> 41	<u>50 - 140</u> 95	<u>20 - 116</u> 62
Br (m g kg <sup>-1</sup> )	$\frac{5 - 21}{13}$	7.6 - 150 90	10.6 - 11.2 10.9	<u>8 - 10</u> 9	$\frac{13 - 17}{15}$	6 - 18 10	<u>5 - 11</u> 8	14 - 16 15	<u>13 - 14</u> 13	<u>8 - 15</u> 11
Co (mg kg <sup>-</sup> 1)	1.0 - 7.0	0.3 - 4.3 2.4	<u>2 - 6</u> 4	$\frac{2}{4}$	<u>2 - 3</u> 3	<u>2 - 4</u> 2.9	<u>1 - 5</u> 3	$\frac{1}{2.4}$	<u>0.5 - 0.6</u> 0.6	<u>0.7 - 3.0</u> 2
Cr (mg kg <sup>-1</sup> )	19.2 - 527 273	0.4 - 54 32	25.3 - 59.4 42	<u>14 - 41</u> 27	12 - 41 22	$\frac{16 - 57}{31}$	<u>6 - 12</u> 8	0.4 - 42 24	3 - 5	5 - 34 19
N i (m g kg <sup>-1</sup> )	109	5.5	13 - 45 29	N d ª	<u>12 - 30</u> 22	34	10	6 - 61 31	$\frac{9 - 13}{11}$	<u>30 - 170</u> 81
Sb (mg kg <sup>-1</sup> )	<u>1.0 - 1.8</u> 1	0.8 - 2.2 1.5	0.33	$\frac{0.4 - 2.0}{1}$	0.5	0.3 - 0.5 0.4	0.3 - 1.0 0.7	<u>0.6 - 0.8</u> 0.7	0.8 - 1.0 0.9	$\frac{0.7 - 2.0}{1}$
Sc (m g kg <sup>-1</sup> )	<u>4.2 - 4.5</u> 4	0.01 - 5.7 3	<u>4.5 - 5.8</u> 5	<u>3.0 - 7.0</u> 5	<u>3.0 - 4.0</u> 3	<u>2 - 5</u> 3	$\frac{1-3}{2}$	<u>0.5 - 6.0</u> 3	0.7 - 0.9 0.8	0.9 - 5.0 2.5
Se (mg kg <sup>-1</sup> )	0.7 - 2.0 1	0.2 - 0.98 0.6	0.42 - 0.46 0.44	<u>0.8 - 6.0</u> 3	<u>0.2 - 0.8</u> 0.6	<u>1 - 3</u> 2	<u>0.8 - 3.0</u> 2	0.6 - 3.0 1.6	$\frac{0.7 - 1.0}{1}$	0.3 - 1.0 0.7
Sr (mg kg <sup>-1</sup> )	$\frac{210 - 400}{305}$	<u>47 - 2035</u> 729	<u>2370 - 3185</u> 2778	<u>900 - 1260</u> 1080	805 - 1390 1160	720 - 1610 1207	<u>1250 - 1785</u> 1460	700 - 1500 1203	<u>105 - 345</u> 225	<u>125 - 340</u> 205
Th (m g kg <sup>-1</sup> )	0.6 - 1.2 0.9	0.3 - 0.7 0.5	0.17 - 0.4 0.3	0.2 - 0.3 0.3	0.06 - 0.4 0.2	0.07 - 0.2 0.1	0.09 - 0.2 0.1	0.2 - 0.3 0.2	0.15 - 0.16 0.2	<u>0.08 - 0.4</u> 0.2
U (mgkg <sup>-1</sup> )	0.9 - 2.0 1.5	<u>0.3 - 5.6</u> 3	$\frac{0.9 - 1.6}{1}$	0.3 - 0.6 0.5	0.4 - 4.0 2	0.4 - 2.0 1.6	0.6 - 2.0 1.0	<u>0.6 - 5.0</u> 2	0.3 - 0.5 0.4	<u>2.4 - 3.5</u> 3
Zn (mg kg <sup>-</sup>	10	$\frac{4}{12}$	11	2 0	<u>4 - 9</u> 6.5	<u>3 - 4</u> 3.5	8	<u>3 - 10</u> 8	1 0	<u>8 - 20</u> 13

Cr, Fe, Co, Ni, Zn, As, Th, Br, Cu y algunos elementos como el La, Ce y Pr. El segundo eje incluyó el resto de los elementos (Nd, Sm, Eu, Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Yb, Lu), Ca, U, Hf y Zr (Tabla 5). La distribución espacial de las concentraciones en los sedimentos de cada de uno de estos factores se muestra en las figuras 12A y B.

La figura 12A muestra la distribución espacial que presentan los componentes del primer factor en los sedimentos del complejo lagunar. Estos revelaron una amplia dispersión que abarcó desde la zona de canales (porción noroeste) y el interior de ambas bahías (línea de costa). Este patrón se relaciona con el aporte temporal de material continental (roca fosfórica) a través de los arroyos intermitentes (Las Bramonas y La Presa) que abastecen a la Laguna La Soledad y a Bahía Almejas, respectivamente. Además del aporte que proviene del Océano Pacífico por influencia de corrientes de marea, eventos de surgencia y viento, considerando la presencia de fosforita en los sedimentos marinos de la zona adyacente (D'Anglejan 1967). En cambio, la menor influencia de este factor se observó adyacente a las islas Margarita y Magdalena y en el canal la Bocana (Fig. 12A), donde está caracterizado por los elementos que integran el segundo factor.

La particularidad del segundo factor fue que estuvo presente principalmente en los sedimentos adyacentes a las islas Margarita y Magdalena (Fig. 12B). Sin embargo, los componentes que lo caracterizan permiten señalar la influencia de agentes biogénico y continental. Los elementos asociados al componente biogénico fueron Ca, Sr y Pb que se relacionan con la presencia de abundantes fragmentos calcáreos y bancos de almejas que caracterizan a la zona, mientras, los elementos como Fe, Sc, Cr, Co, Ni y Zn son asociados a la presencia de las rocas volcánicas ricas en magnetita que caracterizan las islas y son ricas de ese mismo mineral (Fig. 11).

El coeficiente de correlación entre la concentración de elementos de cada especies de macroalgas y el sedimento de cada estación de muestreo, indicó que *P. durvillaei, C. tuberculata, S. sinicola* y *T. fragilis* presentan una alta correlación ( $r^2 > 0.9$ , p < 0.05) en la estación 3 (Isla Magdalena) en marzo. Otras especies fueron *C. cuneatum* en Isla Magdalena (estación 4) y *U. expansa* en Puerto San Carlos (estación 5) con coeficientes de correlación de 0.8 y 0.9 (p < 0.05), respectivamente. Los valores por debajo de 0.6 se localizaron cerca de la boca de Bahía Magdalena (estación 2), relacionados con *S. sinicola* y *T. fragilis*.

En junio del 2002, *P. durvillaei*, *U. lactuca* y *R. california* (estaciones 2 y 3, en Isla Magdalena), además de *P. capillaceae*, *C. tuberculata* y *D. divaricata* (estación 3), presentan una mejor relación entre el contenido de elementos presentes y el del sedimento ( $r^2 > 0.9$ , p < 0.05). Sin embargo, fue posible observar escasa relación entre el sedimento y *L. johnstonii* en Isla Margarita (estaciones 7 y 8;  $r^2$  de 0.63 y 0.21, respectivamente); y las especies *P.* 

 Tabla 5. Resultado del análisis de factores para los datos de concentración de elementos en sedimentos del complejo lagunar Magdalena-Almejas

		_		
Variable	Factor 1	_	Variable	Factor 2
La	0.796		Nd	0.794
Ce	0.756		Sm	0.882
Ba	0.881		Eu	0.848
As	0.965		Gd	0.961
Th	0.800		Tb	0.980
Br	0.754		Dy	0.986
Cu	0.906		Но	0.994
Carbonatos	-0.934		Er	0.994
Sr	-0.909		Tm	0.995
Sc	-0.970		Yb	0.994
Cr	-0.990		Lu	0.995
Fe	-0.938		Ca	0.717
Co	-0.966		U	0.742
Zn	-0.970		Hf	0.960
Ni	-0.923		Zr	0.900


Fig. 12. Distribución del factor a) 1 y factor 2 (b) para las concentraciones de los componentes mayores y los elementos traza en los sedimentos superficiales en el interior del complejo lagunar Magdalena-Almejas

durvillaei, S. filamentosa, C. cuneatum y L. pacifica cuyos datos oscilan por debajo de 0.35 (p < 0.05) del coeficiente de correlación, al sur de Isla Margarita (estación 9).

# DISCUSIÓN

Los carbonatos son el componente con mayor concentración en los sedimentos superficiales del complejo lagunar. El  $\mathrm{C}_{_{\mathrm{org}}}$  sólo destaca en dos áreas del sistema lagunar localizadas frente a Isla Magdalena y en el interior de Bahía Almejas. La presencia  $C_{_{org}}$  se asocia a la bio-asimilación de nutrientes (nitritos, nitratos, fósforo) que aporta periódicamente la plataforma continental con el ciclo de mareas al interior del complejo a través de los canales de comunicación (La Bocana, Gaviota y Rehusa) y las mareas (Álvarez-Borrego et al. 1975, Zaytsev et al. 2003, Martínez-Gómez et al. 2007, Robinson et al. 2007, Zaitsev et al. 2007), además del material derivado de productores primarios (fitoplancton, microalgas, pastos marinos y manglares) (Nienhius & Guerrero-Caballero 1985, Gárate-Lizárraga y Siqueiros-Beltrones 1998, Rosales Villa 2004). Esto es más relevante durante los periodos de surgencias costeras que son determinados por cambios en la temperatura del agua, salinidad, aporte de nutrientes y procesos hidrodinámicos.

Para el complejo lagunar, ninguno de los estudios realizados menciona específicamente la introducción de elementos traza al complejo lagunar; sin embargo esto es de gran importancia debido que Chester (2003) & Takesue & Van Geen (2002) (costa de Oregon) indican la relación de fosfatos con Cd disuelto, relacionados con la dinámica oceánica y advección de masas de agua, por lo cual, probablemente, influyen en la depositación de elementos en los sedimentos en la boca La Bocana. En particular, Takesue & Van Geen (2002) han mostrado que el Cd disuelto aportado por las surgencias frente a las costas de Oregon permite que se lleve a cabo la fijación del carbono en el fitoplancton, a través de la formación de la enzima anhidrasa carbónica-Cd. La relación de Cd y eventos de surgencia lo hace un trazador por varias razones: (1) el Cd tiene una distribución tipo-nutriente lábil en aguas oceánicas; (2) la concentración es conservativa durante su transporte a la zona costera; y (3) el fitoplancton no incorpora rápidamente el Cd de las aguas que alcanzan la superficie (Takesue & Van Geen, 2002). Martin & Broenkow (1975) en la costa occidental de Baja California han detectado concentración alta de Cd. Se debe añadir que el enriquecimiento de Cd en la columna de agua cerca de la costa depende de la intensidad de las surgencias forzadas por vientos, mientras que en las aguas costeras es determinado por la entrada de material preveniente de ríos o sedimentos terrígenos. Es relevante señalar que en el complejo lagunar, ambos aspectos ocurren de manera natural, lo cual reitera la importancia de su caracterización, si se considera que la existencia de niveles altos de elementos químicos afecta tanto a sedimentos como macroalgas.

La concentración y distribución espacial de los elementos traza en los sedimentos del complejo lagunar Magdalena-Almejas son el resultado de la contribución advectiva de aqua de la plataforma continental (eventos de surgencias) y el aporte continental (oxihidróxidos de hierro, aluminosilicatos y fosforita). Elementos como Fe, Sc, Cr, Co, Ni y Zn se encontraron en alta concentración particularmente en los sedimentos adyacentes a las islas Margarita y Magdalena, donde existen importantes depósitos de magnetita ( $Fe^{2+}Fe^{3+}_{2}O_{4}$ ) y magnesita (MgCO<sub>3</sub>) que provienen de rocas ofiolíticas de origen volcánico. Estas observaciones coinciden con lo señalado por Álvarez-Arellano (1995), quien además observó elevados contenidos de Cu, Mn y V en los sedimentos de la misma zona. Los oxihidróxidos de Fe son un factor importante en la distribución de los elementos debido a la gran capacidad de adsorción por la relación de la razón superficie-masa, que influyen en el transporte, depositación, adsorción y/o liberación de los elementos (Chester 2003).

Otro factor de enriquecimiento de elementos químicos en el complejo lagunar es probablemente el aporte de fosforita, que puede provenir de dos fuentes: (1) la Formación San Gregorio (rocas sedimentarias marinas: siliciclásticas, lutitas, silíceas y fosfáticas) (Galli-Olivier 1993) que aflora en la parte continental de la región; y (2) desde la plataforma continental. El aporte de fosforita desde el continente se relaciona con la presencia de arroyos (Las Bramonas y La Presa), que si bien, no aportan agua la mayor parte del año, su influencia es notoria en verano con las lluvias estacionales y los eventos metereológicos (tormentas tropicales, huracanes) que ocurren en la región. Estos arrastran gran cantidad de material sedimentario continental al complejo lagunar, cuyos sedimentos contienen hasta  $\sim$ 3-4 % de P<sub>2</sub>O<sub>2</sub> (D'Anglejan 1967, Daesslé et al. 2000, Daesslé & Fischer 2001). La contribución continental de fosforita y el consecuente enriquecimiento de los sedimentos por elementos traza asociados a minerales fosfáticos se ha observado en los sedimentos de San Juan de la Costa (Piper 1991) y la Laguna de La Paz (Rodríguez-Meza 1999), enriquecidos en As, Se, Cu, Ni, Zn, U y lantánidos, principalmente.

La fosforita es una roca sedimentaria que contiene en promedio >15% de  $P_2O_5$  en forma del mineral de apatita  $(Ca_{10}(PO_4, CO_3)_6 F_{2-3})$ . Generalmente, cuando se le compara con otras rocas sedimentarias puede incluir altas concentraciones de Ag, Cd, Mo, Se, Sr, U, Yu, Zn y los lantánidos (Boggs 1995), cuando se le compara con otras rocas sedimentarias. En la región, Álvarez-Arellano (1989) y Daesslé et al. (2000) estimaron una concentración mayor de fósforo que osciló de  $P_2O_5 \sim 23\%$  en las capas fosfáticas de la formación San Gregorio (en la localidad de la Purísima) y El Cien (en San Juan de la Costa). De manera natural, esta roca está constituida por el mineral apatita donde las sustituciones químicas mejor conocidas son de las tierras raras, U, Mn y Sr por Ca (Clark 1984); Cl<sup>-</sup> y OH  $^{\rm -}$  por F; y CO  $\,$  , SO  $\,$  y SiO\_4  $^{\rm 4-}$  por PO\_4  $^{\rm 3-}$  (Levinson 1974).

Se ha observado la presencia de este material en los sedimentos de la barrera arenosa El Mogote de la Bahía de La Paz (al sur de las fosforitas de la formación El Cien, de San Juan de la Costa), donde el transporte por corrientes litorales, de marea y el viento han provocado su depositación (Rodríguez-Meza 1999). Escandón (1978 citado en Galli-Olivier 1993) estimó una concentración de 50 g de  $U_3O_8$  por tonelada métrica de fosforita y observó otros elementos relativamente abundantes como V, Ti, Ni, Mn, Cr, Zn y Cu en la denominada capa de Humboldt del área de San Juan de la Costa, que fueron algunos de los elementos observados en los sedimentos de la Bahía de La Paz.

La presencia de dos barreras geográficas, islas Magdalena y Creciente, en el complejo lagunar Magdalena -Almejas contribuyen a la acumulación de fosforita proveniente del material continental (arroyos La Presa y Las Bramonas) y del Océano Pacífico (D'Anglejan 1967). En la Isla Creciente se determinaron concentraciones altas de Fe, Co, Cr, Sc, Zn, Zr, Ta, U y lantánidos, que se asocian directamente con la fosforita que proviene del aporte continental, aunque no se excluye la posibilidad del aporte de un componente sedimentario de ambiente marino adyacente. Lo anterior, puede ser argumentado considerando la distribución de fosforita en sedimentos del Océano Pacífico mostrada por D'Anglejan (1967), donde se observan como posibles fuentes de fosforita del complejo lagunar: (1) la Laguna Soledad, por acción de las corrientes y marea; y (2) a la barrera arenosa de la Isla Magdalena, donde el transporte eólico es un factor influyente. La presencia de dicho material se atribuye al aporte continental y al alto contenido de fosfato disuelto que es aportado por los eventos de surgencia.

La presencia de elementos traza en algas marinas se asocia a: (1) la concentración en que se encuentran en los sedimentos; (2) la disponibilidad de éstos en el área; (3) su capacidad para incorporarlos y bioacumularlos (permeabilidad de la membrana); y (4) los requerimientos metabólicos (Haritonidis & Malea 1999). Los primeros se relacionan con la duración de la exposición de las algas a los metales (Brian-Genter 1996), aspecto importante, si se considera la contribución periódica de los eventos de surgencia y el aporte continental en el complejo lagunar y por ende, en las algas marinas.

Las especies susceptibles de una mayor acumulación de elementos están en función de la morfología del talo (Littler & Arnold 1982, Littler et al. 1983), estrechamente asociados a procesos metabólicos y ecológicos que puede afectar la asimilación de los metales (Stengel et al. 2004). Las macroalgas pueden tener talo como: (1) formas como hojas delgadas; (2) talo fuertemente ramificado; y (3) talo parecido a piel o cuero. En el primero se incluyen a D. dichotoma y U. lactuca, caracterizadas por tener una forma de hoja (foliosa) y delgada; con textura suave y con una a varias células de grosor en la anatomía interna (Rodríguez-Meza 2005). Estas particularidades les confieren mayor área de exposición al medio circundante, posiblemente favorecen a la adsorción y acumulación de los elementos (Ho 1990). Esto se relaciona con la hipótesis de alta productividad primaria neta por el uso eficiente de los recursos del tejido fotosintético (Littler & Arnold 1982, Littler et al. 1983).

Por otro lado, L. pacífica es la especie cuyo talo se diferenció por fuerte ramificación, erecta o erquida; y la anatomía es corticada. Estas son particularidades morfológicas relevantes para la acumulación de elementos, debido al contacto de esta especie con el sedimento y la materia particulada suspendida. Las algas absorben los metales a través del contacto directo con los sedimentos o con el material en suspensión. Esto ocurre principalmente durante el periodo de lluvias, siendo este proceso la vía más conspicua para el transporte y distribución de los metales (Brown & Depledge 1998, Haritonidis & Malea 1999). El aporte de lluvias podría ser considerado escaso en Baja California Sur, considerando las reducidas tasas de precipitación anual de la región. Sin embargo, anualmente se vierte gran cantidad de material en suspensión asociado a eventos meteorológicos caracterizados con una alta precipitación pluvial (Anónimo 1999). La relación de las macroalgas con la materia particulada suspendida radica en el hecho de que es una mezcla compleja de materiales poliligandos (ácidos fúlvicos y húmicos, oxihidróxidos de Fe, Mn, Al y otros). Estos materiales actúan como portadores de los elementos traza, ya que comprenden organismos vivos, productos metabólicos y de descomposición, donde los elementos traza adsorbidos pueden formar quelatos o complejos solubles de bajo peso molecular (Mills & Saiers 1993). Alternativamente, también pueden precipitar compuestos inorgánicos producto de la descomposición de los minerales (feldespatos, arcillas y cuarzo), restos silíceos y calcáreos de organismos muertos y minerales autígenos (Chester 2003).

El tercer grupo morfológico de talo incluye a P. durvillaei y S. sinicola, que son especies cuya morfología es ramificada, hojas gruesas y espesas, la anatomía interna diferenciada, fuertemente corticada y la pared gruesa; la textura es tiesa o gruesa parecida a la piel animal. Se considera que son especies comparativamente menos productivas y eficientes en el uso de los nutrientes debido a las ramificaciones y la forma de los folios, que son de textura gruesa lo que impide que las partículas queden atrapadas o adheridas a la superficie y, en el caso de Sargassum y Padina, tienen poco contacto con el sedimento. Al comparar el contenido de elementos bio-esenciales (Fe, Cu, Zn) de las macroalgas de Santa Rosalía con otras localidades indicó valores naturales. Sin embargo, se observó un ligero incremento en el contenido de los elementos inactivos o no esenciales, los cuales incluyen al As, que es abundante en la zona por la contribución continental.

## CONCLUSIONES

El sistema lagunar Magdalena-Almejas es un ambiente complejo y dinámico cuyas particularidades (eventos de surgencia, aporte de minerales de las islas, la cuenca de drenaje y la plataforma continental adyacente, alta productividad y diversidad biológica) influyen en las características geoquímicas de los sedimentos y de las macroalgas. La concentración y distribución espacial de los elementos en los sedimentos superficiales están influenciadas por tres factores principales: (1) aporte continental originado de la parte continental (rocas fosfatadas) y de la Isla Margarita (rocas metamórficas); (2) influencia hidrodinámica del agua de la plataforma continental (eventos de surgencias costeras en el Océano Pacífico); y (3) presencia de fragmentos calcáreos (adyacente a las islas). La interacción de estos factores en el interior del complejo lagunar permite distinguir en términos de concentración y composición a los sedimentos del interior de Magdalena y Almejas y adyacentes a las islas Margarita y Magdalena, como los de más alta concentración de elementos mayores y traza. Los resultados no indican un notable impacto antropogénico en el contenido de elementos mayores y traza en los sedimentos. El enriquecimiento de algunos (Cd, As y Se), es producto de la influencia natural que esta dada por la presencia de minerales (fosforita, magnetita) ricos en elementos y también debido a las características hidrodinámicas del complejo lagunar. Las especies de macroalgas susceptibles de emplearse como posibles indicadoras de contaminación marina por elementos traza son: Padina durvillaei, Sargassum sinicola, Colpomenia tuberculata y Ulva lactuca debido a su amplia distribución en el complejo lagunar y a que estas especies mostraron un patrón de concentración de sedimentos similar al de los sedimentos donde fueron recolectadas, pero también debido a sus características morfológicas del talo.

Agradecimientos: El trabajo se realizó con el apoyo financiero de los proyectos de SIP-IPN y una beca para estudios de posgrado del CONACyT (153489). Agradecemos al personal de apoyo del CICIMAR por colaborar en las salidas al campo, a J Murillo de Nava por proporcionarnos las muestras de los depósitos costeros, a R. Magallanes-Ordoñez por la ayuda en la recolección de sedimentos marinos y a I Sánchez-Rodríguez por su ayuda en la recolección y clasificación de las macroalgas.

#### LITERATURA CITADA

- Acosta-Ruíz M, Lara Lara J (1978) Resultados físicos-químicos en un estudio de variación diurna en el área central de Bahía Magdalena, B. C. S. Cienc Mar 5:37-46
- Álvarez-Arellano A (1989) La roca fosfórica en Baja California Sur. Origen, evolución y usos. Geomimet 157:38-46
- Álvarez-Arellano A (1995) Estudio geoquímico y de procedencia de arenas fosfáticas. Tesis de Doctorado, Universidad Nacional Autónoma de México, México, DF
- Álvarez-Borrego S, Galindo-Bect L, Chee-Barragan A (1975) Características hidroquímicas de Bahía Magdalena, B. C. S. Cienc Mar 2:94-110
- Anónimo (1982) Carta geológica. La Paz, G-12-10-11. Escala: 1: 250,000. Dirección general de geografía, INEGI, México
- Anónimo (1996) Carta topográfica, Ciudad Constitución. Clave G11-12-13. Escala 1:250 000 INEGI, México (versión digital)
- Anónimo (1999) Monografía geológico-minera del estado de Baja California Sur. Consejo de Recursos Minerales, México, DF

- Boggs S (1995) Principles of sedimentology and stratigraphy, Prentice Hall, New Jersey
- Bopp F, Biggs R (1981) Metals in estuarine sediments: Factor analysis and its environmental significance. Science 214:441-443
- Brian-Genter R (1996) Ecotoxicology of inorganic chemical stress to algae. En: Stevenson RJ, Bothwell ML, Lowe RL (eds) Algal ecology: freshwater benthic ecosystems. Academic Press, San Diego, p 403-468
- Brown MT, Depledge MH (1998) Determinants of trace elements concentrations in marine organisms. En: Langston WJ, Bebianno MJ (eds) Metal metabolism in aquatic environments. Chapman and Hall, London, p 185-217
- Chester R (2003) Marine geochemistry. Unwin Hyman, London
- Clark R (1984) Mineralogy of the rare earth elements. En: Henderson P (ed) Rare earth element geochemistry. Development in geochemistry 2, Elsevier, Amsterdam, p 33-61
- Daesslé LW, Fisher DW (2001) Marine minerals in the mexican Pacific: toward efficient resource management. Mar Georesourc Geotechnol 19:197-206
- Daesslé LW, Carriquiry JD (1998) Sedimentology and rare earth element geochemistry of phosphatic sediments from Sebastián Vizcaíno Bay, Baja California, Mexico. Mar Georesourc Geotechnol 16:3-21
- Daesslé LW, Carriquiry JD, Álvarez-Arellano A, Ramos SE (2000) Geochemistry and genetic aspects of the phosphorites from the Baja California Peninsula. Abstr 5<sup>th</sup> Int Meet Geology of the Baja California Peninsula, Loreto, B.C.S.
- D'Anglejan BF (1967) Origin of marine phosphorites off Baja California, Mexico. Mar Geol 5:15-44
- Félix-Uraga R, Alvarado-Castillo RM, Carmona R (1996) The sardine fishery along the western coast of Baja California, 1981 to 1994. Calif Coop Ocean Fish Invest Rep 37:188-192
- Folk RL (1974) Petrology of sedimentary rocks. Hemphill Publishing Co., Austin
- Galli-Olivier C (1993) Fosforita de San Juan de la Costa (Bahía de La Paz), Baja California Sur, México: 17 años de investigaciones. Rev Inv Cient 4:115-135
- Haritonidis S, Malea P (1999) Bioaccumulation of metals by the green alga *Ulva rigida* from Thermaikos Gulf, Greece. Environ Pollut 104:365-372
- Ho YB (1990) Ulva lactuca as bioindicator of metal contamination in intertidal waters in Hong Kong. Hydrobiologia 203:73-81
- Levinson AA (1974) Introduction to exploration geochemistry. Applied Publishing Ltd Wilmette, III.
- Littler MM, Arnold KE (1982) Primary productivity of marine macroalgal functional-form groups from Southwestern North America. J Phycol 18:307-311
- Littler MM, Littler DS, Taylor PR (1983) Evolutionary strategies in a tropical barrier reef system: functional-form groups of marine macroalgae. J Phycol 19:229-237
- Martin JH, Bruenkow WW (1975) Cadmium in plakton: elevated concentrations off Baja California. Science 190: 884-885
- Mills LA, Saiers JE (1993) Particle-associated transport of pollutants in subsurface environments. En: Rao SS (ed) Particulate matter and aquatic contaminants. CRC Press, Boca Raton, p 105-126
- Murillo de Nava JM (1997) Sedimentary characteristic and chronology of Holocene aeolian deposits of the southern portion of the Purisima-Iray-Magdalena Basin, Baja California Sur, Mexico. Tesis de Doctorado, Univ Southern California, Los Angeles
- Nienhuis H, Guerrero-Caballero R (1985) A quantitative analysis of the annual phytoplankton cycle of Magdalena lagoon complex (Mexico). J Plankton Res 7:427-441
- Obeso-Nieblas M, Gaviño-Rodríguez JH, Jiménez-Illescas A

(1999) Modelación de la marea en el sistema lagunar Bahía Magdalena-Almejas, B. C. S., México. Oceánides 14:79-88

- Piper DZ (1991) Geochemistry of a Tertiary sedimentary phosphate deposit: Baja California Sur, Mexico. Chem Geol 92:283-316
- Prol-Ledesma RM, Canet C, Torres-Vera MA, Forrest MJ, Armienta MA (2004) Vent fluid chemistry in Bahía Concepción coastal submarine hydrothermal system, Baja California Sur, Mexico. J Volcanol Geothermal Res 137:311-328
- Rodríguez-Mata LM (2006) Estudio de microescala de los nutrientes y variables hidrológicas en Bahía Magdalena, B.C.S., México. Tesis de Maestría, Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas, La Paz, B. C. S, México
- Rodríguez-Meza GD (1999) Elementos mayores y traza en los sedimentos superficiales de la Laguna de La Paz, B.C.S., México. Tesis de Maestría, Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas, La Paz, B. C. S., México
- Rodríguez-Meza GD (2005) Caracterización geoquímica por componentes mayores y elementos traza de sedimentos de los ambientes marinos costeros adyacentes a la Península de Baja California. Tesis de Doctoral, Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas, La Paz, B. C. S., México
- Rosales-Villa AR (2004) Dinámica de nutrimentos en Bahía Magdalena, B. C. S. México. Tesis de Maestría, Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas, La Paz, BCS, México
- Zaitsev O, Sánchez-Montante O y Saldivar-Reyes M (2007) Condiciones hidrofísicas en el sistema lagunar Bahía Magdalena-Almejas. En: Funes-Rodríguez R, Gómez-Gutiérrez J, Palomares-García R (eds) Estudios ecológicos

en Bahía Magdalena. CICIMAR-IPN, La Paz, B. C. S., México

- Shumilin E, Rodríguez-Figueroa G, Morton-Bermea O, Lounejeva-Baturina E, Hernández E, Durga Rodríguez-Meza G (2000) Anomalous trace element composition of coastal sediments near the copper mining district of Santa Rosalía, Peninsula of Baja California, Mexico. Bull Environ Contam Toxicol 65:261-268
- Shumilin E, Rodríguez-Meza GD, Sapozhnikov D, Lutsarev S, Murrillo de Nava J (2005) Arsenic concentrations in the surface sediments of the Magdalena–Almejas Lagoon complex, Baja California Peninsula, Mexico. Bull Environ Contam Toxicol 74:493-500
- Stengel DB, Macken A, Morrison L, Morley N (2004) Zinc concentrations in marine macroalgae and a lichen from western Ireland in relation to phylogenetic grouping, habitat and morphology. Mar Pollut Bull 48:902–909
- Takesue KR, Van Geen A (2002) Nearshore circulation during upwelling inferred from the distribution of dissolved cadmium off the Oregon coast. Limnol Oceanogr 47:176-185
- Taylor SR (1964) Abundance of chemical elements in the continental crust: a new table. Geochim Cosmochim Acta 28:1273-1285
- Umhoefer PJ, Dorsey RJ, Willsey S, Mayer L, Renne P (2001) Stratigraphy and geochronology of the Comondú Group near Loreto, Baja California Sur, Mexico. Sedim Geol 144:125-147
- Zaitsev O, Cervantes-Duarte R, Sánchez-Montante O, Gallegos-García A (2003) Coastal upwelling activity on the Pacific shelf of the Baja California Peninsula. J Oceanogr 59:489-502

Rodríguez–Meza D, Choumiline E, Méndez–Rodríguez L, Acosta–Vargas B, Sapozhnikov D (2007) Composición química de los sedimentos y macroalgas del complejo lagunar Magdalena-Almejas. En: Funes-Rodríguez R, Gómez-Gutiérrez J, Palomares-García R (eds) Estudios ecológicos en Bahía Magdalena. CICIMAR-IPN, La Paz, Baja California Sur, México, p 61-81

# Concentración de metales pesados en almeja roñosa *Chione californiensis* (Broderip) en la porción norte de Bahía Magdalena

<sup>•</sup>Lia Méndez–Rodríguez, Susan C. Gardner, Baudilio Acosta–Vargas, Nadia López–Esquerr, Sergio Ticul Álvarez–Castañeda

Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S.C., Mar Bermejo 195, Col. Playa Palo de Santa Rita. AP. 128, La Paz, 23090, Baja California Sur

RESUMEN: Se estimaron las concentraciones de 7 metales en la almeja roñosa, *Chione californiensis* (Broderip) recolectadas antes y después de la temporada de lluvia, en la parte norte de Bahía Magdalena, Baja California Sur, México. Las concentraciones de Pb, Cu, Fe, Mn, Cd y Zn se encontraron dentro del intervalo de concentraciones previamente informadas en estudios realizados en diferentes regiones del mundo. Sin embargo, las concentraciones máximas de Ni (25.7  $\mu$ g g<sup>-1</sup>) fueron significativamente más elevadas en comparación a las registradas en bivalvos de ambientes no perturbados. La precipitación fluvial en la época de lluvia aparentemente tuvo un efecto significativo en la bioacumulación de algunos metales, debido a que después de la temporada de lluvia se incrementaron las concentraciones de Pb y Ni en las almejas, mientras que las concentraciones de Mn disminuyeron de manera significativa. Bahía Magdalena se encuentra influenciada principalmente por aportes terrígenos durante la época de lluvias, así como por corrientes de mareas cerca de su entrada principal, aunque una pequeña área de esta zona puede también estar afectada por las actividades antropogénicas del poblado aún relativamente pequeño de Puerto San Carlos.

PALABRAS CLAVE: Chione californiensis · Metales pesados · Bioacumulación · Contaminación • Bahía Magdalena

ABSTRACT: Metal concentrations were estimated in roñosa clams *Chione californiensis* (Broderip) collected after and before the rainy season in the northern part of Bahía Magdalena, Baja California Sur, Mexico. Concentrations of Pb, Cu, Fe, Mn, and Zn were within the range of those reported in other bays around the world. However, the maximum concentrations of Ni (25.7  $\mu$ g g<sup>-1</sup>) were comparatively higher than previous measurement of bivalves from unperturbed environments. Apparently, the rainy season had a significant effect on the bioaccumulation of some metals with significant increased levels of Pb and Ni, but significant decreased levels of Mn in the clams after the rain season. Bahía Magdalena is probably affected by terrestrial inlets during the rainy season and by tidal marine currents in its main entrance. However, a small area of the bay may be influenced by anthropogenic activities from the so far relatively small population of Puerto San Carlos.

KEY WORDS: Chione californiensis · Heavy metals · Bioacumulation · Pollution · Bahía Magdalena

# **INTRODUCCIÓN**

Baja California Sur reúne características litorales, hidrográficas, climáticas y geológicas que han permitido el desarrollo de diversas actividades económicas como la de el transporte marítimo, turístico, agrícola y minero (Consejo de Recursos Mineros 1999). Éstas, como cualquier otra actividad antropogénica, pueden introducir distintos tipos de material alóctono en el ambiente que pueden, en ocasiones, alcanzar niveles que excedan las concentraciones naturales causando efectos adversos directos e indirectos en el ecosistema, siendo entonces considerados contaminantes tóxicos (Albert 1998).

Bahía Magdalena han sido considerada como una de las bahías socio-económicamente más notables del noroeste Mexicano, por su considerable extensión y elevada productividad que la ha convertido en el centro de varias pesquerías importantes para la región (Morales-Zárate 2006). Aunque actualmente una gran extensión de este complejo lagunar aún no esta rodeada por poblaciones humanas (aunque las actividades de pesca, navegación marítima comercial y ecoturismo tienen una amplia cobertura en el sistema lagunar), el Puerto San Carlos con aproximadamente 4,716 habitantes (Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática 2006), puede representar un factor de perturbación ambiental. Actualmente no existen actividades mineras importantes pero la presencia de vacimientos submarinos de fosforita ha sido previamente documentada (Consejo de Recursos Mineros 1999). Este mineral,  $Ca_{10}(PO_4, CO_3)_6 F_{2-3}$ generalmente se caracteriza por un alto contenido de fósforo estimado entre 15 y 20 % (expresado como  $P_{a}O_{c}$ ), además de contener en su estructura Ag, Cd, Mo, Se, Sr, U, Yu, Zn y lantánidos (Boggs 1995). Rodríguez-Meza (2005) realizó una caracterización de distribución de elementos, identificando una moderada concentración de Fe, Hf, Er e Yb; una elevada concentración de Ca, Pb, As, Th, U, Pr, Sm, Gd y Dy; así como una inusualmente elevada concentración por Cd, Rb, Sr, Ba, Sc, Cr, Co, Cu, Ni, Zn, Zr, La, Ce y Nd de origen no identificado en el sistema costero de la península de Baja California mediante el índice de Muller (1979). Ella consideró que el origen de todos estos elementos son probablemente de origen natural debido a la escasa actividad antropogénica en la región, auque es necesario destacar que estas concentraciones con considerablemente mayores que las registradas en otros lugares poco impactados por actividades antropogénicas. Sin embargo, altas concentraciones de elementos químicos en el ambiente no necesariamente significa que también la biota presente en ese habitat también posea comparativamente altas concentraciones de estos elementos en su biomasa, ya que su biodisponibilidad y bioacumulación dependerá de varios factores como su estructura química, pH, salinidad y temperatura del medio entre otros (Riley 1989). De igual forma hay que considerar el mecanismo de alimentación (filtrado vs depredador), tasas de ingestión, fisiología de la especie, longevidad del organismo o el nivel trófico entre otros factores relevantes.

Varias especies de almejas del género *Chione* han sido frecuentemente utilizadas como bioindicadores de contaminación antropogénica, como es: *Chione cancellata* (Linnaeus) que ha sido considerada como bioindicador de los efectos ecológicos negativos causados por la introducción de aguas negras (McNulty 1961), *Chione californiensis* (Broderip) de la presencia de insecticidas como el Dicloro Difenil Tricloroetano (DDT) (Núñez 1975) y de hidrocarburos clorados (Gutiérrez–Galindo et al. 1988); así como *Chione stutchburyi* (Wood) de Pb (Purchase & Ferguson 1986). Hasta la fecha no existe información publicada en Bahía Magdalena que nos indique cuales son los niveles de concentración de metales pesados en prácticamente ningún componente biótico de este ecosistema.

Debido a las posibles implicaciones que estos elementos pueden tener en la salud y el balance de los sistemas biológicos, en las actividades productivas, así como el potencial impacto del inminente desarrollo de actividades económicas que se esperan que ocurran en un futuro en Baja California Sur por el proyecto de la Escalera Náutica, es necesario reunir información relacionada con los niveles de metales pesados actuales que sirvan como nivel base para futuras comparaciones una vez que se intensifique la actividad económica y productiva en el sistema lagunar de Bahía Magdalena.

# **MATERIALES Y MÉTODOS**

#### Sitios de muestreo y determinación de metales pesados

Se realizaron recolecciones de la almeja roñosa *Chione californiensis* en 10 sitios localizados en la parte norte de Bahía Magdalena, los cuales fueron geo-posicionados con un GPS Magellan modelo 315 (Fig. 1). En cada sitio se recolectaron 10 almejas de talla similar (7.8 cm,  $\pm$  3 cm) antes de la época de lluvia (junio) y después de la temporada de lluvias (noviembre) de 2004.

El tejido blando de cada organismo fue retirado de la concha y lavado con agua desionizada para eliminar sedimentos adheridos a ellos y restos de sales del agua marina. Cada muestra fue secada en un horno a 70 °C (Estufa Marca Precisión) por 36 h hasta registrar peso constante. Posteriormente, las muestras fueron pulverizadas en un mortero de ágata para evitar contaminación con metales y después éstas fueron homogenizadas (Van Loon 1985). De cada almeja se obtuvo una cantidad entre 0.5 y 0.7 g de tejido, la cual fue digerida con ácido nítrico concentrado a 70° C por 4 h utilizando tubos de teflón en un horno de microondas (CEM modelo Mars 5', Matthews, NC). Finalmente se le agregó a cada muestra de almeja 1 ml de HCL concentrado y se aforaron a 25 ml en un matraz volumétrico con agua desionizada (Méndez et al. 2002). El contenido de Cd, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb y Zn de cada muestra fue analizada mediante un espectrofotómetro de absorción atómica (GBS Scientific model AVANTA, Dandenong, Australia) usando una llama del aire/ acetileno. Los análisis fueron validados mediante el uso de estándares de referencia certificados por el National Research Council of Canadá (DORM-II y TORT II). Se



Fig. 1. Localización de las estaciones de muestreo en la parte norte de Bahía Magdalena, B.C.S., México

utilizó el estándar TORT2 que contenía en  $\mu$ g g<sup>-1</sup> Cd: 26.7 ± 0.6, Cu: 100 ± 10, Fe: 105 ± 13, Pb: 0.35 ± 0.13, Mn: 13.6 ± 1.2, Ni: 2.50 ± 0.19 y Zn: 180 ± 6.

La recuperación de los metales del tejido de las almejas fue aproximadamente 95 %, por lo que puede haber un error de hasta el 5 % en las estimaciones de las concentraciones informadas en el presente estudio. La concentración de cada elemento se expreso en relación al peso seco del organismo ( $\mu$ g g<sup>-1</sup>).

#### Análisis de datos

Con el fin de detectar y evaluar posibles diferencias significativas de las concentraciones de metales pesados en las almejas entre sitios de recolección se realizaron análisis estadísticos tipo ANOVA de una vía utilizando una prueba a posteriori de Newmnan-Keuls para comparar las medias individuales (Downie & Heath 1986). Para definir si existían diferencias significativas en la concentración de metales en almejas, antes y después de la época de lluvia se utilizó una comparación de medias no pareadas (t-student). Los análisis estadísticos se efectuaron mediante el programa STATISTICA versión 5.0 para Windows.

#### RESULTADOS

La magnitud de la concentración estimada del metal bioacumulado en las almejas varió considerablemente para cada elemento. El Fe presentó las mayores concentraciones seguido por Zn, Ni, Cu, Mn, Cd y Pb (en orden decreciente en concentración por peso seco), existiendo entre Fe y Pb más de dos órdenes de magnitud en la variabilidad de las concentraciones registradas en los organismos analizados (Tabla 1).

## Estimación de metales pesados en función a la época de lluvias

La concentración de metales de todos los organismos analizados variaron significativamente entre las estaciones monitoreadas antes de la época de lluvia (p < 0.001, Tabla 2). Varias muestras de almejas tuvieron niveles de Pb por debajo del límite de detección y en los sitios donde fueron detectables estuvieron por debajo de la concentración estipulada por la norma NOM-031-SSA-1993 (Secretaria de Salud 1993).

Las concentraciones de metales en función del peso seco de las almejas en el norte de Bahía Magdalena, recolectadas después de la época de lluvia variaron significativamente de una estación a otra (p < 0.001, Tabla 3).

De acuerdo con las estimaciones de las concentraciones de metales en almejas no existieron diferencias significativas en la concentración promedio de Cd, Cu, Fe, y Zn antes y después de la época de lluvias (Tabla 3). Se registró un incremento significativo en los niveles de Pb y Ni después de la época de lluvias (p < 0.001), mientras que los niveles de Mn disminuyeron significativamente después de la época de lluvias (p < 0.001, Tabla 4).

## DISCUSIÓN

Con excepción de la estación 9 (24° 49.55', 112° 08.43') que se encuentra enfrente del poblado de Puerto San Carlos, la zona norte de Bahía Magdalena objeto de este estudio, tiene una relativamente escasa actividad humana, por lo que las concentraciones de metales pesados registradas en los organismos son aparentemente de origen natural, siendo afectadas posiblemente únicamente por las corrientes de marea y el aporte

Tabla 1. Concentración promedio de los muestreos y error estándar de metales pesados  $\mu$ g g<sup>-1</sup> en almejas de 10 diferentes sitios en Bahía Magdalena, B. C. S., México. Las diferencias significativas (p < 0.05) son consideradas con letras distintas

Estación	Cd	Cu	Pb	Ni	Mn	Fe	Zn
1	$0.63 \pm 0.18^{a}$	$6.15 \pm 0.64^{a}$	$0.14 \pm 0.14^{a}$	$11.4 \pm 2.1^{abc}$	$1.53 \pm 0.75^{a}$	$240\pm20^{ab}$	$75.6 \pm 6.4^{ab}$
2	$1.64 \pm 0.33^{a}$	$5.76 \pm 1.09^{a}$	$0.20 \pm 0.10^{a}$	14.2±2.1ac	$2.97 \pm 0.98^{a}$	$304\pm31^{ab}$	$71.4 \pm 5.4^{ab}$
3	$4.58 \pm 0.50^{b}$	$5.68 \pm 0.93^{a}$	$0.02 \pm 0.02^{a}$	$11.2 \pm 1.2^{\text{abc}}$	$2.60 \pm 1.42^{a}$	$264{\pm}24^{ab}$	$46.7 \pm 3.8$ <sup>a</sup>
4	$2.19 \pm 0.47^{a}$	$4.06 {\pm} 0.57^{a}$	$0.09 \pm 0.06^{a}$	$6.5 \pm 1.3$ ab	$3.08 \pm 1.12^{a}$	$285 \pm 12^{ab}$	$72.3\!\pm\!4.8^{ab}$
5	$3.98 \pm 0.45^{b}$	$6.39 \pm 1.50^{a}$	$0.19 \pm 0.08^{a}$	$11.5 \pm 2.3^{\text{abc}}$	$4.14 \pm 1.00^{a}$	$240\pm25^{ab}$	$59.1 \pm 3.9^{ab}$
6	$1.27 \pm 0.22^{a}$	$10.70 \pm 1.5^{b}$	$0.22 \pm 0.13^{a}$	$17.9 \pm 4.0^{\circ}$	$4.11 \pm 0.81^{a}$	$354 \pm 46^{a}$	$68.7 \pm 7.1^{ab}$
7	$0.65 \pm 0.22^{a}$	$4.40{\pm}0.89^{a}$	$1.12 \pm 0.42^{b}$	$8.6 \pm 1.3$ ab	$3.34 \pm 0.91^{a}$	$345\pm24$ a	$67.3 \pm 5.9^{ab}$
8	$1.18 \pm 0.26^{a}$	$7.46 \pm 1.16^{a}$	$0.63 \pm 0.22^{a}$	$8.6\!\pm\!0.9^{\text{ ab}}$	$4.87 \pm 1.15^{a}$	$289\pm27^{ab}$	$72.0 \pm 7.4^{ab}$
9	$5.17 \pm 0.59^{b}$	$5.08 \pm 1.30^{a}$	$0.04 \pm 0.03^{a}$	$4.7\pm\!0.9$ $^{a}$	$4.21 \pm 0.83^{a}$	$225\pm17$ <sup>b</sup>	$59.4 \pm 4.3^{ab}$
10	$2.14 \pm 0.48^{a}$	$5.65 \pm 0.99^{a}$	$0.27 \pm 0.12^{a}$	$11.9 \pm 2.^{abc}$	$5.39 \pm 0.92^{a}$	$315\pm25^{ab}$	$85.8 \pm 14.8^{b}$
Total	$2.34 \pm 0.52$	$6.13 \pm 1.15$	$0.29 \pm 0.18$	$10.67 \pm 2.12$	$3.62 \pm 1.01$	$286 \pm 28$	$67.8 \pm 7.3$

Dunie	i Magaalena, D.	C. D., MICAICO. L	us uncrenetus si	giinicativas (p <	0.00) 5011 Consid	ciudus con ictius	distilitas
Estación	Cd	Cu	Pb	Ni	Mn	Fe	Zn
1	< 0.04 <sup>a</sup>	$7.73 \pm 0.92^{a}$	$< 0.01^{a}$	$8.19 \pm 3.63^{a}$	$0.55 \pm 0.55^{a}$	$213 \pm 34.05^{a}$	$61.3 \pm 8.4$ <sup>a</sup>
2	$1.23 \pm 0.30^{a}$	$5.51 \pm 1.21^{a}$	$< 0.01^{a}$	$9.35 \pm 0.96$ a	$2.5 \pm 1.05^{ab}$	$251 \pm 13.94^{a}$	$64.1 \pm 3.6$ <sup>a</sup>
3	$4.81 \pm 0.72^{\text{bc}}$	$6.41 \pm 1.76^{a}$	< 0.01 <sup>a</sup>	$8.48 \pm 1.45^{a}$	$1.7 \pm 0.68^{ab}$	$258 \pm 33.88^{a}$	$46.7 \pm 5.5$ <sup>a</sup>
4	$3.97 \pm 0.44^{\text{bc}}$	$3.98 \pm 1.04^{a}$	$< 0.01^{a}$	$2.37 \pm 0.64$ <sup>a</sup>	$6.2 \pm 1.8$ <sup>b</sup>	$310 \pm 18.21^{a}$	$53.4 \pm 2.8^{a}$
5	$3.36 \pm 0.59$ <sup>b</sup>	$8.54 \pm 2.52^{a}$	$< 0.01^{a}$	$5.04 \pm 0.63$ a	$6.4 \pm 1.6$ <sup>b</sup>	$213 \pm 31.60^{a}$	$56.3 \pm 3.2$ a
6	$1.06 \pm 0.32$ <sup>a</sup>	$15.3 \pm 2.1$ <sup>b</sup>	$< 0.01^{a}$	$10.14 \pm 3.50^{a}$	$4.4 \pm 1.09^{ab}$	$341 \pm 73.37^{a}$	$63.5 \pm 9.7^{a}$
7	$0.30 \pm 0.21^{a}$	$3.04 \pm 0.69^{a}$	$< 0.01^{a}$	$5.80 \pm 1.31^{a}$	$5.0 \pm 1.3$ ab	$320 \pm 27.30^{a}$	$60.4 \pm 3.5^{a}$
8	$0.89 \pm 0.29$ a	$5.45 \pm 1.38^{a}$	$0.33 \pm 0.29^{a}$	$9.76 \pm 1.15^{a}$	$6.7\pm2.2$ <sup>b</sup>	$327 \pm 52.31^{a}$	$74.1 \pm 14.6^{a}$
9	$5.43 \pm 0.98$ <sup>c</sup>	$6.43 \pm 2.52^{a}$	$0.03 {\pm} 0.03^{a}$	$2.64 \pm 0.65^{a}$	$4.4 \pm 1.7$ ab	$255 \pm 28.81^{a}$	$56.2\pm8.2$ a
10	$1.14 \pm 0.29$ <sup>a</sup>	$4.86 \pm 1.04^{a}$	$0.38 \pm 0.23^{a}$	$6.95 \pm 0.85^{a}$	$7.6 \pm 1.5$ <sup>b</sup>	$235 \pm 23.76^{a}$	$102 \pm 29.0^{\rm b}$
Total	$2.21 \pm 0.76$	$6.73 \pm 1.88$	$0.07 \pm 0.12$	$6.87 \pm 1.93$	$4.5 \pm 1.5$	$272 \pm 44$	63±12

Tabla 2. Concentración de metales pesados  $\mu$ g g<sup>-1</sup> en almejas *Chione californiensis* en junio del 2004, antes de la época de lluvia en Bahía Magdalena, B. C. S., México. Las diferencias significativas (p < 0.05) son consideradas con letras distintas

Tabla 3. Concentración de metales pesados µg g<sup>-1</sup>en almejas *Chione californiensis* en noviembre del 2004, después de la época de lluvia en Bahía Magdalena, B. C. S., México. Las diferencias significativas (p < 0.05) fueron consideradas con letras distintas; ND = por debajo del límite de detección

Sitio	Cd	Cu	Pb	Ni	Mn	Fe	Zn
1	$1.27 \pm 0.22^{ac}$	$4.57 \pm 0.56^{a}$	$0.28 \pm 0.28^{a}$	$14.69 \pm 1.53^{ab}$	$2.52 \pm 1.35^{a}$	$268 \pm 20.1^{ab}$	$89.95 \pm 7.53$ <sup>a</sup>
2	$2.04 \pm 0.59^{ac}$	$6.01 \pm 1.89^{a}$	$0.39 \pm 0.18^{a}$	$19.10 \pm 3.45^{ab}$	$3.42 \pm 1.70^{a}$	$357 \pm 58.2^{a}$	$78.69 \pm 9.86^{a}$
3	$4.35 \pm 0.72$ <sup>b</sup>	$4.96 {\pm} 0.68^{a}$	$0.05 \pm 0.05^{a}$	$13.84 \pm 1.63^{ab}$	$3.45 \pm 2.80^{a}$	$269 \pm 37.3^{ab}$	$46.73 \pm 5.51^{b}$
4	$0.42\pm0.16$ <sup>c</sup>	$4.14 \pm 0.52^{a}$	$0.17 \pm 0.12^{a}$	$10.65 \pm 1.63$ <sup>b</sup>	ND	$259 \pm 12.5^{ab}$	$91.26 \pm 3.39^{a}$
5	$4.61 \pm 0.66$ <sup>b</sup>	$4.24 \pm 1.47^{a}$	$0.39 \pm 0.13^{a}$	$17.94 \pm 3.55^{ab}$	$1.91 {\pm} 0.84^{a}$	$267\!\pm\!40.9^{\text{ab}}$	$61.84 \pm 7.36^{ab}$
6	$1.49 \pm 0.29^{ac}$	$6.05 \pm 0.96^{a}$	$0.44 \pm 0.24^{a}$	$25.73 \pm 6.48$ <sup>a</sup>	$3.83 \pm 1.26^{a}$	$366 \pm 60.9$ <sup>a</sup>	$73.93 \pm 10.54^{ab}$
7	$1.01{\pm}0.37^{\rm ac}$	$5.75 \pm 1.57^{a}$	$2.24 \pm 0.68^{b}$	$11.38 \pm 2.00$ <sup>b</sup>	$6.30 \pm 5.15^{a}$	$370 \pm 40.0$ <sup>a</sup>	$74.13 \pm 11.27^{ab}$
8	$1.47 \pm 0.43^{\rm ac}$	$9.48 \pm 1.70^{a}$	$0.93 \pm 0.31^{a}$	$7.50 \pm 1.35$ <sup>b</sup>	$3.07 \pm 0.35^{a}$	$251 \pm 14.7^{ab}$	$69.87 \pm 3.70^{ab}$
9	$4.92 \pm 0.68$ <sup>b</sup>	$3.73 \pm 0.60^{a}$	$0.06 \pm 0.06^{a}$	$6.82 \pm 1.46$ <sup>b</sup>	$4.00 \pm 0.40^{a}$	$195 \pm 16.0^{\rm b}$	$62.50 \pm 2.87^{ab}$
10	$3.15 \pm 0.82^{ab}$	$6.44 \pm 1.70^{a}$	$0.15 \pm 0.08^{a}$	$16.97 \pm 3.24^{ab}$	$3.18 \pm 0.35^{a}$	$395 \pm 27.0$ <sup>a</sup>	$69.46 \pm 4.47$ ab
Total	$2.47 \pm 0.72$	$5.53 \pm 1.32$	$0.51 \pm 0.33$	$14.46 \pm 3.38$	$2.70 \pm 2.01^{a}$	$299 \pm 40.4$	$71.8 \pm 8.0$

terrígeno (Otchere 2003). Estos metales pueden ser deslavados y transportados por los arroyos durante la época de lluvias (generalmente entre septiembre y octubre), dado que los arroyos temporales pasan por sitios con formaciones geológicas como la fosforita que es rica en metales traza (Gnandi & Tobschall 1999). La dispersión de los metales pesados en el ambiente marino depende del tamaño de la partícula a la que se encuentran asociados y de la dirección y velocidad de las corrientes, para que estas partículas trasportadas de un sitio a otro de un ambiente marino como en Bahía Magdalena la influencia de las corrientes de mareas tiene un papel importante (Sánchez–Montante 2004).

Aunque la concentración de metales pesados en las almejas fueron considerados dentro del intervalo estándar para cada uno de estos elementos, que son típicos de áreas naturales sin impacto humano (Nauen 1983, Bat et al. 1999, Méndez et al. 2002, Yap et al. 2004), se observaron diferencias significativas en la concentración de metales en tejido de almejas recolectadas entre estaciones y en las muestras obtenidas antes y después de la época de lluvias (Tablas 2-4). Es notable que en algunos sitios disminuya el contenido de Cu, Ni, Fe y aumente en la concentración de Pb, Mn y Fe después del período de lluvias. Estos resultados pueden deberse a que cerca de las estaciones 6, 7 y 8 se encuentra la desembocadura del arroyo Las Bramonas que pasa por un yacimiento de fosforita (Fig. 1) (Consejo de Recursos Mineros 1999). Es relevante mencionar que en Baja California Sur se encuentra uno de los dos depósitos más grandes del mundo de fosforita, estando el otro en Africa occidental (Riley 1989).

Elemento	Media ( $\mu g g^{-1}$ )	Desviación estandard ( $\mu g~g^{-1}$ )	t	р
Cd (1)	2.22	2.40		
Cd (2)	2.47	2.26	-0.994	0.323
Cu (1)	6.73	5.96		
Cu (2)	5.536	4.16	1.551	0.124
Pb (1)	0.074	0.386		
Pb (2)	0.511 *	1.048	-3.828	0.001
Ni (1)	6.87	6.14		
Ni (2)	14.46 *	10.69	-6.208	0.001
Mn (1)	4.55 *	4.83		
Mn (2)	2.70	4.04	2.801	0.006
Fe (1)	272	122		
Fe (2)	300	128	-1.566	0.121
Zn (1)	63.83	38.1		
Zn (2)	71.83	25.34	-1.859	0.066

Tabla 4. Pruebas *t* de Student entre medias de metales pesados antes y después de la época de lluvia en almejas del norte de Bahía Magdalena, B. C. S., México. (\*) Las diferencias son significativas a p < 0.05. 1 = antes; 2 = después de la temporada de lluvia

Otra posible explicación para entender las diferencias en el contenido de metales en las almejas antes y después de la época de lluvias es la actividad reproductiva de ésta especie que ha sido registrada a lo largo de casi todo el año (García–Domínguez 1991). Algunos metales son elementos esenciales que pueden transferirse y acumularse activamente en la gónada (Méndez et al. 2001). Cuando las almejas desovan, algunos de los metales contenidos en la gónada pueden ser transferidos a las larvas que se distribuyen en su fase planctónica a lo largo de la columna de agua. Swaileh (1996) informo sobre incrementos en las concentraciones de Cu y Zn en tejido durante la época de desove del bivalvo Arctica islandica (Linnaeus). Además, el proceso de desove reduce significativamente el peso de la gónada modificando por ende el peso total del organismo. Por lo tanto, en este estudio posiblemente se estimaron concentraciones más bajas de metales principalmente en animales recién desovados, y niveles más altos de los metales en organismos en maduración previa al desove. Por ejemplo, el Cu probablemente se transfiere a las larvas (Méndez et al. 2001) porque forma parte de la hemocianina, la molécula relacionada con la absorción de oxígeno en moluscos (Terwilliger & Ryan 2001). Con base a esto, teóricamente se esperaría una disminución en el contenido de Cu después del periodo de desove de Chione californiensis. En general, esto ocurrió aunque la magnitud de cambio no fue significativo (Tabla 4). La actividad reproductiva de la almeja roñosa Chione californiensis ocurre principalmente en abril, aunque puede extenderse hasta por 8 meses (García-Domínguez 1991).

Aunque en la estación 7 se encontró la concentración promedio de Pb más alta en las almejas roñosas en este estudio, ésta no sobrepasó el límite estándar (1  $\mu$ g g<sup>-1</sup> base húmeda, aproximadamente 5  $\mu$ g g<sup>-1</sup>base seca) establecido por la NOM-031-SSA-1993 (Secretaria de Salud 1993). Por este motivo, en el presente estudio se interpreta que durante el periodo de estudio no presentó una situación desfavorable asociada a la presencia de toxicidad por metales pesados en Bahía Magdalena. Los niveles de Pb en este estudio se encontraron en el intervalo de concentraciones registradas para el bivalvo Perna viridis (Linnaeus) recolectados en Malasia, y en primera instancia no representa un riesgo para la salud humana (Yap et al. 2004). Estudios previos realizados en sedimentos de Bahía Magdalena indican concentraciones < 10  $\mu$ g g<sup>-1</sup> en las zonas muestreadas en el presente estudio (Rodríguez-Meza 2005).

Riba et al. (2005) encontraron una relación entre el nivel de bioacumulación de Zn en organismos del estuario de Guadalquivir, España con la presencia de vertimientos enriquecidos de metales resultado de descargas provenientes de actividades mineras. Sin embargo, en Bahía Magdalena no existe este tipo de desarrollo y las concentraciones de Zn en el presente estudio fueron comparables a las registradas en otros sitios que han sido consideradas sin problemas de contaminación antropogénicas (Méndez et al. 2002) y se encuentran por debajo de los niveles que pueden ser considerados tóxicos (Yap et al. 2004).

La contaminación de Cu puede aumentar como resultado de aguas residuales agrícolas (Cao & Hu 2000, Riba et al. 2005). El presente estudio estuvo motivado por la posibilidad de encontrar un incremento en los niveles del Cu en las almejas, después de la época de lluvias, como resultado del deslave de sedimentos terrígenos transportados hacia el mar desde la zona agrícola de Ciudad Constitución. Sin embargo, contrario a lo esperado no se observaron diferencias estadísticamente significativas, en las concentraciones de este Cu antes y después de la temporada de lluvias, posiblemente por que la respuesta de concentración ambiental–incorporación al tejido sea más prolongado que el período de estudio o este efecto es en realidad insignificante en términos cuantitativos (Tabla 4). Antes y después de la época de lluvias, las concentraciones de Cu se encontraron dentro del intervalo considerado como normal (Nauen 1983), a excepción de los valores registrados en la estación 6 que presentaron niveles más altos significativamente después de la temporada de lluvias (p < 0.001).

Los niveles de Cd también se encontraron dentro del intervalo considerado como normal por legislaciones de varios países (Tabla 5). En la parte oceánica de la península de Baja California han sido registrados altas concentraciones de este elemento en plancton (Martin & Broenkow 1975) y en sedimentos (Méndez et al. 1998). Yang & Rose (2005) encontraron en núcleos de sedimentos evidencias de la presencia de altos niveles de Cd antes de la época de la industrialización, indicando que altas concentraciones de este elemento no están asociadas necesariamente con actividades humanas.

Simkiss et al. (1982) propusieron que usualmente existen correlaciones significativas entre las concentraciones de metales en el medio y en moluscos. Cuando estas correlaciones no son significativas puede indicar el exceso de un elemento y por lo tanto un problema de contaminación y toxicidad para los consumidores de éstas. El hecho que exista una correlación múltiple en la concentración de multielementos de metales pesados, significa que éstos pueden estar presentes en el organismo sin que estos sean dañinos al organismo, posiblemente como resultado de la homeostasis en su sistema metabólico (Simkiss et al. 1982). Comparando los resultados obtenidos en este estudio con los registrados por Simkiss et al. (1982) varias de las correlaciones estimadas fueron semejantes en ambos estudios (Tablas 6 y 7).

En conclusión, nosotros observamos que la época de lluvia tiene un efecto significativo en la acumulación de Pb, Ni y Mn en las almejas recolectadas en la parte norte de Bahía Magdalena en el 2004, destacando que la mayoría de los metales pesados están por debajo los

Tabla 5. Legislaciones sobre niveles de concentración de metales pesados en alimentos (μg g-1) en diferentes países de acuerdo con revisión realizada por Yap et al. (2004)

Región de estudio	В	Cd	Cu	Pb	Zn
Límites permitidos por la Regulación de Alimentos de Malasia (1985)	Η	1.00	30.0	2.0	100
Consejo Internacional para la Exploración del Mar (ICES 1988)	S	1.80	-	3.00	—
Ministerio de Salud de Brasil (ABIA 1991)	S	5.00	150	10.0	250
Ministerio de Salud Pública de Tailandia (MPHT 1986)	S	-	133	6.67	667
Administración de Alimentos y Drogas (USFDA 1990)	S	25.0	-	11.5	-
Requerimientos Legales de Australia (NHMRC 1987)	S	10.0	-	350	750
Departamento de Protección Ambiental de Hong Kong (HKEPD 1997)	Н	2.00	-	6.00	-

Tabla 6. Correlaciones de la concentración de metales en almeja *Chione californiensis* antes de la época de lluvia (junio) en Bahía Magdalena, B. C. S., México. \* indica diferencias significativas p < 0.05 (n = 100 muestras)

Elemento	Cd	Cu	Pb	Ni	Mn	Fe	Zn
Cd	1.00						
Cu	0.12	1.00					
Pb	-0.05	0.03	1.00				
Ni	-0.10	0.20*	0.14	1.00			
Mn	0.24*	0.08	0.46*	-0.01	1.00		
Fe	0.07	0.10	0.34*	0.03	0.29*	1.00	
Zn	0.02	0.11	0.40*	0.01	0.51*	0.35*	1.00

Elemento	Cd	Cu	Pb	Ni	Mn	Fe	Zn
Cd		-0.26*					
Cu	0.09	-0.12					
Pb	-0.05	-0.05	1.00				
Ni	0.09	-0.14	0.01	1.00			
Mn	0.35*	0.22*	-0.01	0.23*	1.00		
Fe	1.00	0.35*	0.23*	0.68*	1.00	1.00	
Zn	1.00	1.00	0.01	0.28*	0.06	-0.05	1.00

Tabla 7. Correlaciones de la concentración de metales en almeja *Chione californiensis* después de la época de lluvia (noviembre) en Bahía Magdalena, B. C. S., México. \* indica diferencias significativas a p < 0.05 (n = 100 muestras)

limites de concentración considerados como tóxicos. Esto sugiere que en la actualidad la porción norte de Bahía Magdalena se encuentra en un estado saludable si consideramos a la almeja Chione californiensis como indicador del estado que guardan los organismos del bentos. Sin embargo, es recomendable extender este estudio no solo en número de estaciones para definir el estado de salud de toda esta Bahía, evaluando distintas especies con tasas de bioacumulación específicas, así como ampliar los elementos analizados debido a que en el presente trabajo no se analizaron elementos traza de importancia ambiental como Cr, Se y Sb. Estos elementos fueron registrados en altas concentraciones en el sedimento de esta misma región (Rodríguez-Meza 2005), pudiendo tener un efecto importante en la fisiología y reproducción de la biota de este ecosistema.

*Agradecimientos*. Este estudio fue posible gracias al financiamiento del proyecto P.C. 2.2 "Metales Pesados" financiado por el Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S.C. (CIBNOR).

#### LITERATURA CITADA

- Albert LA (1998) Curso básico de toxicología ambiental, Segunda edición, UTHEHA, Noriega Editores, México DF
- Bat L, Gündogdu A, Öztürk M, Öztürk M (1999) Copper, zinc, lead and cadmium concentrations in the Mediterranean mussel Mytilus galloprovincialis Lamaeck 1819 from the Sinop coast of the Black Sea. Tr J Zool 23:321–326
- Boggs S (1995) Principles of sedimentology and stratigraphy, Second edition. Prentice Hall, New Jersey
- Cao ZH, Hu ZY (2000) Copper contamination in paddy soils irrigated with wastewater. Chemosphere 41:3–6
- Consejo de Recursos Mineros (1999) Monografía geológicominera del estado de Baja California Sur. Primera edición, Secretaria de Comercio y Fomento Industrial, Pachuca, Hidalgo. México
- Downie NM, Heath RW (1986) Métodos estadísticos aplicados. Qinta edición, Harla, México D.F
- García–Domínguez FA (1991) Distribución, abundancia, reproducción y fauna asociada de la almeja roñosa, Chione californiensis. Tesis de Maestría. Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas, La Paz, B. C. S., México

- Gnandi K, Tobschall HJ (1999) The pollution of marine sediments by trace elements in the coastal region of Togo caused by dumping of cadmium–rich phosphorite tailing into the sea. Environ Geol 38:13–24
- Gutiérrez–Galindo EA, Flores–Muñoz G, Villaescusa J (1988) Hidrocarburos clorados en moluscos del Valle de Mexicali y Alto Golfo de California. Cienc Mar 14:91–113
- Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (2006) Principales resultados por localidad 2005 (ITER) En: II Conteo de Población y Vivienda 2005. http:// www.inegi.gob.mx/est/contenidos/espanol/sistemas/ conteo2005/localidad/iter/default.asp
- Martin JH, Broenkow WW (1975) Cadmium in plankton: elevated concentrations off Baja California. Science 190:884–885
- McNulty JK (1961) Ecological effects of sewage pollution in Biscaine Bay, Florida: sediments and the distribution of benthic and fouling macro–organisms. B Mar Sci Gulf and Carib 11:394–347
- Méndez L, Acosta B, Álvarez–Castañeda ST, Lechuga–Devezee CH (1998) Trace metal distribution along the southern coast of Bahía de La Paz (Gulf of California), Mexico. B Environ Contam Tox 61:616–622
- Méndez L, Racotta IS, Acosta B, Rodríguez–Jaramillo C (2001) Mineral concentration in tissues during ovary development of white shrimp *Penaeus vannamei*. Mar Biol 138:687–692
- Méndez L, Salas–Flores LM, Arreola–Lizarraga A, Alvarez– Castaneda ST, Acosta B (2002) Heavy metals in clams from Guaymas Bay, Mexico. B Environ Contam Tox 68:217–223
- Morales–Zarate MV (2006) Patrones de reclutamiento y deriva larvaria de la almeja catarina *Argopecten ventricosus* en el complejo lagunar de Bahía Magdalena–Almejas, B.C.S. México Tesis de doctorado, Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste. La Paz, BCS, México
- Muller G (1979) Schwermetalle in den sediment des Rheins-Veranderungen seit 1971. Umschau 79:778–783.
- Nauen CE (1983) Compilation of legal limits for hazardous substances in fish and fishery products. FAO Fisheries Circ. No. 764, FAO of the United Nations, Rome, Italy
- Núñez EO (1975) Concentración de DDT en *Chione californiensis* de la parte norte del Golfo de California. Cienc Mar 1:6–13
- Otchere FA (2003) Heavy metals concentrations and burden in the bivalves (Anadara (Senilia) senilis, Crassostrea tulipa and Perna perna) from lagoons in Ghana: Model to describe mechanism of accumulation/excretion, African J Biotech 2:280–287
- Purchase NG, Ferguson JE (1986) Chione (Austrovenus) stuchbury, a New Zealand cockle, as a bio-indicator for lead pollution. Environ Pollut (Series B) 11:137–151
- Riba I, Blasco J, Jiménez-Tenorio N, Del Valls TA (2005) Heavy

metal bioavailability and effects: bioaccumulation caused by mining activities in the Gulf of Cadiz (SW, Spain). Chemosphere 58:659–669

- Riley JP (1989) Los elementos más abundantes y menores en el agua de mar. En: Introducción a la química marina. Primera edicion, Riley, J. P. y Chester, R. (eds), AGT Editor, S. A. México, DF
- Rodríguez–Meza GD (2005) Caracterización geoquímica por componentes mayores y elementos traza de sedimentos de los ambientes marinos costeros adyacentes a la península de Baja California. Tesis de doctorado, Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas, La Paz, BCS, México
- Sánchez–Montante O (2004) Hidrodinámica y transporte de masa en el sistema lagunar de Bahía Magdalena–Bahía Almejas, Baja California Sur, México: Modelación y experimentación. Tesis de doctorado, Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas, La Paz, BCS, México
- Secretaria de Salud (1993) Norma Oficial Mexicana NOM-031-SSA1-1993, bienes y servicios. Productos de la pesca. Moluscos bivalvos frescos-refrigerados y congelados.

Especificaciones Sanitarias. México, DF

- Simkiss K, Taylor M, Mason AZ (1982) Metal detoxification and bioaccumulation in mollusks. Mar Biol Letters 8:187–201
- Swaileh KM (1996) Seasonal variations in the concentrations of Cu, Cd, Pb, and Zn in Arcaica islandica L. (Mollusca: Bivalvia) from Kiel Bay, Western Baltic Sea. Mar Pollut Bull 32:631–635
- Terwilliger NB, Ryan M (2001) Ontogeny of crustacean respiratory proteins. Am Zool 41:1057–1067
- Van Loon JC (1985) Selected methods of trace metal analysis: biological and environmental samples. John Wiley & Sons, Hoboken, NJ
- Yang H, Rose N (2005) Trace element pollution records in some UK lake sediments, their history, influence factors and regional differences. Environ Int 31:63–75
- Yap CK, Ismail A, Tan SG (2004) Heavy metal (Cd, Cu, Pb and Zn) concentrations in the green–lipped mussel *Perna viridis* (Linnaeus) collected from some wild and aquacultural sites in the west coast of Peninsular Malaysia. Food Chem 84:569– 575

Méndez-Rodríguez L, Gardner SC, Acosta-Vargas B, López-Esquerr N, Álvarez-Castañeda ST (2007) Concentración de metales pesados en almeja roñosa *Chione californiensis* (Broderip) en la porción norte de Bahía Magdalena. En: Funes-Rodríguez R, Gómez-Gutiérrez J, Palomares-García R (eds) Estudios ecológicos en Bahía Magdalena. CICIMAR-IPN, La Paz, Baja California Sur, México, p 83-90

# Comunidades de anélidos poliquetos de Bahía Magdalena

Victoria Díaz-Castañeda<sup>1,\*</sup>, Jesús A. de León-González<sup>2</sup>

 <sup>1</sup> Departamento de Ecología. Centro de Investigación Científica y Educación Superior de Ensenada. Km 106 Carretera Tijuana-Ensenada, Ensenada 22860, Baja California
<sup>2</sup> Facultad de Ciencias Biológicas. Universidad Autónoma de Nuevo León.Pedro de Alba y Manuel L. Barragán, Ciudad Universitaria. San Nicolás de los Garza, Nuevo León

RESUMEN: Los poliquetos son un componente dominante de las comunidades marinas; para determinar la composición y estructura de las comunidades de anélidos poliquetos, en 1996 se colectaron muestras en 21 estaciones ubicadas en Bahía Magdalena, Baja California Sur. Los poliquetos constituyeron el 47.2% de la macrofauna: 1,640 poliquetos fueron colectados, representaron 28 familias, 54 géneros y 87 especies. Las familias que presentaron mayor abundancia fueron Cirratulidae, Paraonidae, Spionidae, Nereididae y Nephtyidae. Los valores más altos de abundancia se localizaron en las estaciones 1, 7, 8, 13 y 15, en el noroeste y el lado este de la boca. Los valores más altos de riqueza específica se encontraron en la zona noroeste de la bahía, llegando hasta 18 familias/estación (estación 13). La riqueza de especies varió entre 8-33 especies/estación; la mayor riqueza específica se encontró en el noroeste del área de estudio (estaciones 12, 13). Las familias representadas por más especies fueron sedimentívoras: Cirratulidae, (13 especies), Spionidae (11) y Paraonidae (9). El modelo de estrés predicibilidad definió a 30% de las estaciones como ambientes muy favorables y estables, al 52% como constantes con cierto grado de estrés ambiental y al 18% restante como ambientes moderadamente favorables e inestables. El valor promedio de materia orgánica en la bahía fue de 2.3%. Los dendrogramas generados con el coeficiente de Bray-Curtis separaron las estaciones en 5 grupos, dependiendo de su profundidad y ubicación en la bahía: boca, fuera de la boca, zona noroeste, zona centro y zona este. El análisis de escalamiento multidimensional no métrico corroboró los resultados del dendrograma, confirmando una separación entre las estaciones de la boca y cercanas a la boca de la bahía, estaciones de la zona oeste y este de la bahía.

# PALABRAS CLAVE: Bentos $\cdot$ diversidad

ABSTRACT: Polychaetes are important members of marine ecosystems, serving vital functions in the benthic environment. In order to study the composition and structure of polychete communities, in 1996 21 stations were sampled in Bahía Magdalena, Baja California Sur. Polychaetes constituted 47.2% of all invertebrate macrofauna, with 1,640 specimens in 28 families representing 87 species. The best represented families (more abundant) were Cirratulidae, Paraonidae, Spionidae, Nereididae and Nephtyidae. Highest values of abundance were located in stations 1, 7, 8, 13 and 15 in the northwest and east of the bay's mouth. Higher species richness was located on the northwest area, reaching up to 18 families/station (station 13). Species richness varied between 8-33 species/station; highest species richness was found in the northwest section of the study area (stations 12, 13). Most specious families were deposit-feeders: Cirratulidae, (13 species), Spionidae (11) y Paraonidae (9). The stress-predictability modeling characterized 30% of stations as presenting very favorable and stable conditions, 52% as constant with a degree of environmental stress and 18% as moderately favorable. The average value of organic matter in the bay was 2.3%. Bray–Curtis coefficient separated 5 groups of stations in relation to their depth and location in the bay: mouth, near the mouth, northwestern area, central area and eastern area. Non metric multidimensional scaling analysis confirmed Bray-Curtis dendrogram, indicating a separation between the sampling sites of the mouth and near the mouth, from those on the eastern area and the western area of the bay.

KEY WORDS: Benthos · diversity

# INTRODUCCIÓN

El estudio del bentos es fundamental ya que la mayoría de las especies marinas son bénticas y los habitats sedimentarios cubren la mayoría del fondo del océano. Los sedimentos constituyen por lo tanto, el más grande bioma en nuestro planeta en términos de cobertura espacial (Snelgrove 1997).

Los poliquetos son anélidos marinos que constituyen uno de los grupos numéricamente dominantes entre los invertebrados del bentos marino. Estos organismos desempeñan una función muy importante en la mineralización de la materia orgánica de la zona litoral, por consumo directo o por bioturbación. Por su modo de vida asociado a los sedimentos o sustratos algunas especies se consideran indicadores de contaminación. La literatura muestra su amplio uso como indicadores de la calidad ambiental marina (Bellan et al. 1988, Pocklington & Wells 1992, Reish & Gerlinger 1997, Elías et al. 2001). Algunas especies de las familias Capitellidae, Spionidae y Cirratulidae se reconocen como indicadores de contaminación orgánica.

Parte de la importancia ecológica de los poliquetos radica en que tienen una amplia variedad de modos de alimentación por lo que ocupan varios niveles en las redes tróficas, son presas o depredadores de diversos animales. Además ellos constituyen una fuente de alimento importante para diversas especies de peces y crustáceos. Los poliquetos también realizan la bioturbación, una reexposición de los sedimentos enterrados que modifica sus características geoquímicas. Algunos poliquetos son tubícolas y forman agregaciones densas que alteran el flujo de la masa de agua favoreciendo la sedimentación de partículas finas y estimulando el reclutamiento de diversos invertebrados. Estas agregaciones de poliquetos filtradores proveen complejidad estructural a su biotopo y a su vez consumen una cantidad importante de larvas marinas. Las actividades de estos organismos impactan los ciclos del carbono, nitrógeno y azufre, el transporte, entierro y concentración de los contaminantes, la productividad secundaria incluyendo especies de importancia comercial y el transporte de sedimentos (Snelgrove, 1998). Bahía Magdalena es una de las zonas costeras más importantes del noroeste mexicano, no sólo por su considerable extensión sino por su alta productividad, que la convierte en el centro de varias pesquerías importantes para la región.

Actualmente el conocimiento de la poliquetofauna y de otros invertebrados marinos, en Bahía Magdalena, Baja California Sur es muy escaso. Estos organismos constituyen una buena herramienta para describir cambios en el espacio y en el tiempo. Se considera que el presente estudio contribuirá a incrementar el conocimiento de la diversidad y organización de la fauna de poliquetos dentro de esta bahía.

Esto permitirá caracterizar los distintos biotopos bénticos, lo cual se reconoce como la información básica necesaria para realizar programas de vigilancia ambiental que permitan detectar cambios en la integridad del mencionado ecosistema. El objetivo de este estudio fue determinar la composición y estructura de las comunidades de anélidos poliquetos en Bahía Magdalena.

# **MATERIALES Y MÉTODOS**

El muestreo fue realizado a bordo del B/O El Puma en un crucero que tuvo lugar en diciembre de 1996. En 21 estaciones (Fig. 1) se tomaron muestras de sedimentos marinos con una draga Smith-McIntyre (0.1 m<sup>2</sup>), a profundidades de 15 a 84 m, (Tabla 1). El potencial de óxidoreducción (mV) se midió en cuanto la muestra llegaba a bordo, introduciendo a 2-3 cm de profundidad, un electródo Ingold acoplado a un potenciómetro. Se analizó el contenido de una draga de 0.1 m<sup>2</sup> por estación.

Se colectaron muestras para efectuar análisis granulométricos. En el laboratorio se secaron en estufa a 70 °C durante 48 hrs, posteriormente 100 gramos de cada muestra se tamizaron en una serie de tamices con agitador mecánico durante 40 minutos. El material retenido en cada tamiz se pesó en una balanza analítica y se calculó el porcentaje de las categorías granulométricas.



Fig. 1. Ubicación de los sitios de muestreo en Bahía Magdalena, Baja California Sur

y contenido de materia orgánica en Bahía Magdalena Estación Latitud N Longitud W Profundidad Eh(mV) M.O. (%) % F. Fina 1 24° 28'085" 112° 01' 230" 75 19.30 2 24 31 083 112 03 232 63 16.20 3 24 32 789 112 00 683 41 -103 1.78 34.70 4 24 32 805 111 69 007 24 -89 1.42 31.92

Tabla 1. Estaciones de muestreo, profundidad, potencial redox

2	24 31 083	112 03 232	63			16.20
3	24 32 789	112 00 683	41	-103	1.78	34.70
4	24 32 805	111 69 007	24	-89	1.42	31.92
5	24 34 829	111 59 251	17.7	-96	0.91	44.92
6	24 35 116	111 56 744	15.2	-142	1.70	60.08
7	24 36 835	111 58 601	20.2	-148	1.87	33.60
8	24 36 878	111 58 911	21.3	-165	1.63	22.50
9	24 36 840	112 00 871	23.8	-180	2.24	39.16
10	24 39 006	111 58 862	16.7	-158	3.58	33.34
11	24 38 998	112 01 126	18	-172	2.06	49.62
12	24 37 921	112 02 363	24.4	-139	3.01	54.19
13	24 37 929	112 04 726	30.3	-121	3.22	38.98
14	24 37 788	112 05 648	29	-185	5.70	45.44
15	24 36 988	112 04 753	36	-113	3.13	62.51
16	24 36 833	112 02 332	27	-108	2.02	38.91
17	24 34 763	112 02 596	26	-144	1.37	40.41
18	24 34 655	112 00 346	25.1	-69	1.48	32.10
19	24 32 859	112 02 552	23	-59	0.87	13.62
20	24 31 186	112 05 178	74.7	-72	1.39	25.36
21	24 28 458	112 04 338	83.9	-94	1.15	20.70

El sedimento para el estudio faunístico se lavó a través de un tamiz 1.0 mm de luz de malla; el material biológico retenido en el tamiz se fijó con una solución de formol al 10 %, neutralizado con borato de sodio. En el laboratorio se lavaron las muestras; el material se separó con un microscopio estereoscópico a nivel especie y se preservó en etanol al 70%.

Los poliquetos se identificaron a nivel de especie utilizando diversos trabajos taxonómicos, entre estos Blake et al. (1994, 1996, 2000), de León-González (1990, 1991, 1993, 1994, 1998); de León-González & Rodríguez-Valencia (1998), de León-González & Solís-Weiss (2000), de León-González et al. (2006), Fauchald (1977), Hartman (1968, 1969), Salazar-Vallejo et al. (1989), entre otros trabajos especializados. Los organismos recolectados se depositaron el la colección del Laboratorio de Biosistemática, de la Facultad de Ciencias Bioloógicas, de la Universidad Autónoma de Nuevo León.

Para evaluar el contenido de materia orgánica se tomaron muestras de sedimentos a -1 a -2 cm de profundidad. El contenido se determinó usando el método de pérdida por ignición (Byers et al. 1978); 10 g de sedimento seco (70 °C, 48 h) se introdujeron en un horno a 450 °C durante 5 h, posteriormente se colocó en un desecador, se pesó y calculó el porcentaje de materia orgánica.

Se calculó el índice de diversidad de Shannon y la equitabilidad de Pielou con el fin de estudiar la estructura y organización de las comunidades de poliquetos (Shanon-Weaver 1963, Pielou 1977, Frontier 1985). La técnica de Olmstead & Tukey se aplicó para analizar la distribución espacial de estos organismos (Sokal & Rolf 1995). Esta técnica grafica la frecuencia de aparición en cada estación expresada como porcentaje contra la densidad de organismos de cada especie. Se calcula un promedio para cada eje, resultando 4 cuadrantes: I Especies frecuentes y abundantes, II Especies no frecuentes y abundantes, III Especies no abundantes y IV Especies frecuentes y no abundantes.

Se aplicó el modelo de Estrés-Predecibilidad (Alcolado 1992, Díaz-Castañeda & Harris 2004) para establecer los niveles de estrés ambiental existentes en la bahía. El estrés ambiental se determina basándose en los valores de diversidad (H') y equitabilidad (J'). En el eje de las ordenadas (X) se grafican los valores de equitabilidad de Pielou y en el de las abscisas (Y) los del índice de Shannon. Dependiendo de los valores se definieron 4 ambientes: I ambiente muy favorable y estable, II ambiente favorable y estable, III ambiente constante con un cierto grado de estrés ambiental y IV ambiente moderadamente favorable, algo inestable y con cierto grado de estrés ambiental.

Se utilizaron diversas técnicas multivariadas para detectar los patrones de abundancia y distribución de la poliquetofauna. La relación entre diferentes estaciones se determina por la posición que presentan en el espacio factorial; cuando dos estaciones están cerca una de otra, quiere decir que tienen perfiles faunísticos similares (Díaz-Castañeda et al. 1993). El coeficiente de Bray-Curtis (Bray & Curtis 1957, Sokal & Rolf 1995) se usó para determinar el nivel de similitud de los diferentes sitios de muestreo. Se utilizó el escalamiento multidimensional no-métrico (MDS) para identificar los patrones de variación entre los sitios de muestreo, con base en la abundancia de las especies. Los análisis MDS se realizaron a partir de una matriz de 86 especies x 21 estaciones. Los datos se analizaron siguiendo las rutinas del programa computacional PRIMER (Clarke & Warwick 2001).

#### RESULTADOS

Los valores del potencial redox oscilaron entre -59 y -185 mV (Tabla 1). Los valores más negativos se encontraron en las estaciones 6, 7, 8, 10 y 14 localizadas hacia adentro de la bahía en el lado este, excepto la 14 (noroeste), mientras que los valores menos negativos correspondieron a las estaciones 4, 5, 18 a 21 que se encuentran en la zona sureste y boca de la bahía, donde las corrientes son importantes. En relación al contenido en materia orgánica, este varió entre 0.87 y 5.70%. Los valores más altos (3.01 a 5.70%) se localizaron en la zona noroeste: estaciones 12 a 15 mientras que los más bajos (0.87 a 1.37) se encontraron en las estaciones 5, 19, 20, 21 que corresponden a la boca de la bahía, a excepción de la estación 5.

Entre los grupos taxonómicos reconocidos en las muestras estuvieron Polychaeta, Gastropoda, Bivalvia, Echinodermata, Amphipoda, Decapoda, Tanaidacea, Isopoda, Cumacea, Oligochaeta, Nemertea, Nematoda y Sipuncula, siendo los primeros los más abundantes. El análisis de la macrofauna béntica mostró que los poliquetos constituyeron el 47.2 % de la macrofauna, seguido por los crustáceos (32.9%), moluscos (15.5%) y equinodermos (0.8). Se recolectaron 1,640 poliquetos de 28 familias, 54 géneros y 87 especies; las familias mejor representadas (más abundantes) fueron Cirratulidae, Spionidae, Paraonidae, Syllidae, Nereididae y Nephtyidae. Las familias representadas por más especies fueron: Cirratulidae, (13 especies), Spionidae (11 especies), Paraonidae (9 especies), Nereididae (7 especies) y Nepthyidae (5 especies) (Anexo1).

Las 3 especies más ampliamente distribuidas y abundantes fueron los espiónidos *Paraprionospio pinnata* (Ehlers 1901), *Spiophanes bombix* (Claparède 1870) y el ofélido *Ophelina cylindricaudata* (Hansen 1882) quienes constituyeron 22% de la abundancia total. Las especies dominantes pertenecen particularmente a las familias Spionidae, Cirratulidae y Opheliidae.

Bahía Magdalena presenta una riqueza importante de anélidos poliquetos, con valores generalmente superiores a 7 familias/estación, llegando hasta 18 familias/estación (estación 13) en la zona noroeste.

Entre las especies numéricamente dominantes tenemos Parapronospio pinnata (Ehlers 1901), Spiophanes bombyx (Claparède 1870), Spiophanes missionensis ((Hartman 1941), Eclysippe vanelli (Fauvel 1936), Prionospio (Minuspio) lighti (Maciolek 1985), Ophelina cylindricaudata (Hansen 1882), Notomastus (Clistomastus) tenuis (Moore 1909), Monticellina cryptica (Blake 1996), Capitelletus sp y Mediomastus sp.

Del total, 19 especies estuvieron presentes en 33% a 85% de las estaciones y solo 10 especies estuvieron presentes en la mitad de las estaciones.

#### Abundancia

Las densidades variaron entre 9 y 356 org/0.1 m<sup>2</sup>. Los valores más altos se localizaron en las estaciones 1, 7, 8, 13 y 15, las primeras tres del lado este y las otras en la zona noroeste. Por su parte, los valores más bajos de abundancia se situaron en las estaciones 3, 9, 16, 19 y 21, localizadas en el centro y boca de la bahía.

4

# Riqueza específica

La riqueza de especies varió entre 8 - 33 especies/ estación, la región con mayor riqueza de especies fue la parte noroeste del área de estudio (estaciones 12 y 13), la más pobre (3, 18, 19) en la zona centro norte y boca de la bahía.

#### Distribución espacial de poliquetos

El gráfico de Olmstead y Tukey muestra que las 28 familias se ubican en 3 cuadrantes que corresponden a familias dominantes, restringidas y raras (Fig. 2). En el cuadrante I (frecuentes y abundantes), 10 familias fueron caracterizadas como dominantes. Spionidae, Cirratulidae, Paraonidae, Opheliidae, Lumbrineridae, Orbiniidae, Nephtyidae, Onuphidae y Dorvilleidae presentaron altas densidades y una amplia distribución en la bahía. Cinco familias restringidas a ciertas zonas de la bahía se ubicaron en el cuadrante II (no fecuentes y abundantes) y corresponden al 19% del total de familias. En el cuadrante III (no frecuentes y no abundantes), aparecen 13 familias que se presentan en 2 o 3 estaciones como Magelonidae, Pisionidae, Serpulidae etc. Ninguna familia se localizó en el cuadrante IV, que corresponde a frecuentes y no abundantes.

#### Diversidad

El análisis de los valores de los índices de Shannon (H') y equitabilidad de Pielou (J') ubicaron a las diferentes áreas de muestreo en 4 "ambientes" (Fig. 3) como se de-



Fig. 2. Gráfica de Olmstead & Tukey que coloca a las familias de poliquetos de Bahía Magdalena en tres cuadrantes: I dominantes, II restringidas y III raras



Fig. 3. El modelo de Estrés-Predecibilidad (Alcolado 1992) coloca a las estaciones en 4 ambientes: I Muy favorable y estable, II Favorable y estable, III Constante con un cierto grado de estrés ambiental y IV Moderadamente favorable, inestable y con cierto grado de estrés ambiental

fine en el modelo de Estrés-Predecibilidad (Alcolado 1992, Díaz-Castañeda & Harris 2004). El ambiente I que corresponde a muy favorable y estable incluye las estaciones 12 y 13 con los valores más altos de diversidad (3.07, 3.12), el ambiente II, favorable y estable, incluye 4 estaciones que presentan valores de diversidad de 2.55 a 2.96. El ambiente III corresponde a constante con un cierto grado de estrés ambiental, reúne a 11 estaciones finalmente el ambiente IV, moderadamente favorable, algo inestable y con cierto grado de estrés ambiental incluye 3 estaciones: 14, 18, 19, las últimas dos ubicadas cerca de la boca.

# Categorías tróficas

Se trató en lo posible de analizar el contenido entérico de las especies de poliquetos estudiadas realizando disecciones y verificando los contenidos bajo microscopio compuesto, sin embargo, una gran cantidad de especimenes se encontraban vacíos, por lo cual, su categoría trófica fue tomada de la literatura, utilizando los estudios previos de Fauchald & Jumars (1977), Gaston (1987), Volckaert (1987) y Maurer & Williams (1988).

Al analizar los grupos tróficos encontramos que dominan los sedimentívoros de superficie y subsuperficie (72% de las especies), seguidos por los carnívoros (26%) y filtradores (3%). Los sedimentívoros consumen la materia orgánica y las poblaciones bacterianas asociadas; mientras que los carnívoros se alimentan de poliquetos y otros invertebrados marinos. Considerando que los poliquetos juegan un papel importante en las cadenas tróficas, su abundancia y composición pueden influir la estructura trófica del sistema béntico en Bahía Magdalena. Las familias representadas por más especies fueron sedimentívoras: Cirratulidae, (13 especies), Spionidae (11 especies) y Paraonidae (9 especies). Cabe mencionar que muchas especies de espiónidos pueden ser también suspensívoros (Dauer et al. 1981).

El dendrograma generado con el coeficiente de Bray-Curtis (Fig. 4) muestra que las estaciones se agruparon constituyendo 5 grupos: el grupo I reúne las estaciones 2, 3 y 19 ubicadas dentro y en la zona de la boca, el II esta formado por las estaciones 1, 20, 21 todas localizadas justo fuera de la boca. En estos 2 primeros grupos dominan las especies *Eclysippe vanelli* (Fauvel 1936), *Monticellina cryptica* Blake 1996, *Diopatra farallonensis* Fauchald 1968, *Aphelochaeta glandaria* Blake 1996, *Streblosoma crassibranchia* Treadwell 1914, *Aricidea minima* Strelzov 1973 entre otras. El grupo III reúne las estaciones 13, 14, 15 que se encuentran al noroeste de la bahía, en una zona relativamente protegida del fuerte hidrodinamismo donde abundan *Chaetozone corona* Berkeley & Berkeley 1941, *Cossura candida* Hartman 1955,



Fig. 4. Dendrograma resultante del análisis de clasificación usando el coeficiente de Bray-Curtis

Paraprionospio pinnata (Ehlers 1901), Ophelina cylindricaudata Hansen 1882 y Leitoscoloplos kerguelensis (McIntosh 1885). El grupo IV incluye las estaciones 9, 12 y 16 localizadas en la región central donde están bien representadas las especies Mediomastus sp, Capitelletus sp y Monticellina ca serratiseta (Banse & Hobson 1968); finalmente el grupo V reúne un grupo de 9 estaciones: 4 a 8, 10, 11, 17, 18 ubicadas principalmente al este de la bahía, en donde sobresalen Caulleriella pacifica Berkeley 1929, Dorvillea (Schistomeringos) longicornis (Ehlers 1901), Lumbrineris cedroensis Fauchald 1970 y Ceratocephale papillata de León-González & Góngora-Garza 1993.

## Análisis de escalamiento multidimensional nométrico

Estos análisis se aplicaron a una matriz de abundancias de 87 especies x 21 estaciones; el valor de estrés fue de 0.11 lo que indica que es una buena ordenación. La figura 5 muestra 4 grupos de estaciones, del lado inferior se observan 2 grupos que reúnen las estaciones de la boca y cercanas a la boca: las estaciones 1, 20 y 21 con profundidades que van de 75 a 84 m, las estaciones 2 y 3 con profundidades de 41 a 63 m. Por alguna razón la estación 19, una de las más someras (23 m) y con el menor contenido de materia orgánica (0.87%) y porcentaje de fracción fina (13.6%), se separa del resto. En la parte superior izquierda se encuentran las demás estaciones; separadas del lado izquierdo las ubicadas al oeste de la bahía y del lado derecho las del lado este. Esto indicaría que la composición y estructura de los ensamblajes de poliquetos no son los mismos en toda la bahía, diferencias

en el Eh, porcentaje de materia orgánica, granulometría, y profundidad favorecen diferentes agrupaciones de especies. Cabe mencionar que los valores más altos de abundancia y diversidad se localizaron en la zona oeste.

# DISCUSIÓN

Los poliquetos constituyeron un componente relevante del bentos de Bahía Magdalena (47.2%). Se caracterizaron por presentar una diversidad importante, 28 familias y 87 especies. Como referencia se presentan algunos valores de abundancia de familias y especies para otras zonas del Pacífico: Méndez & Green Ruiz (1998) reportan en 21 estaciones de Bahía de Mazatlán 30 familias de poliquetos. En Bahía Todos Santos, Díaz-Castañeda & Harris (2004) reportaron 44 familias y 203 especies en 39 estaciones. Más al sur, en Barra de Navidad, Jalisco, Rodríguez-Cajiga (1993) encuentra 26 familias y 35 especies de poliquetos. En Bahía Petacalco, Guerrero, Hernández-Guevara (1997) y Rodríguez-Valencia (1997) registran 33 familias y 125 especies de poliquetos en 24 estaciones. Al realizar comparaciones con otros estudios se debe recordar que no siempre se usa el mismo tipo de draga o malla para tamizar.

Las condiciones hidrológicas y de surgencias en la región (Salinas-González & Pinet-Plascencia 1991) parecen promover el desarrollo de comunidades macrobénticas abundantes y diversas en las que predominan los poliquetos, seguidos por los crustáceos peracáridos y moluscos bivalvos. Diversos autores enfatizan (Villora-Moreno 1997, Snelgrove 1997) la importancia de la disponibilidad de diversos ambientes (alta heterogeneidad) en determinar mayores o menores



Fig. 5. Análisis de escalamiento multidimensional no-métrico de las estaciones de muestreo

valores de densidad y diversidad. La abundancia de pastos y macroalgas en Bahía Magdalena (Sánchez-Rodríguez et al. 1989) parecen favorecer la disponibilidad de nichos para diversas especies.

Patrones de distribución relacionados con la profundidad han sido descritos por algunos autores (Ellingsen 2001, Gray 2002) generalmente entre 50 y 500 m de profundidad, en muchos casos la diversidad incrementa a medida que aumenta la profundidad. Bergen et al. (2001) encuentran que en zonas de surgencias en el Pacífico, la diversidad y la abundancia son más elevadas en profundidades intermedias (30-115m). En el presente trabajo el patrón no es claro, sin embargo encontramos las más altas abundancias y diversidades en las estaciones 12 y 13 ubicadas a profundidades intermedias (24-30 m).

La distribución de organismos bénticos se ve afectada por la heterogeneidad en la estructura sedimentaria, causada por la actividad biológica y factores hidrodinámicos. Los análisis numéricos mostraron 3 zonas distintas basándose en los valores de abundancia: a) noroeste y costado derecho de la boca (estación 1) los valores más altos (151 a 356 org/m<sup>2</sup>), coincide con valores altos de materia orgánica (3 a 5.7%) b) en el margen este se ubican los valores intermedios (72 a 88 org/0.1m<sup>2</sup>) y c) centro y boca de la bahía los más bajos (10 a 40 org/0.1m<sup>2</sup>) la elevada dinámica que caracteriza esta última zona, puede estar relacionada con una menor abundancia ya que no permite a las larvas de invertebrados fijarse exitosamente al sustrato.

En Bahía Magdalena no se observa un patrón de diversidad de poliquetos definido. Rodríguez et al. (2003) encuentran en la costa oeste de Baja California un incremento de la diversidad de poliquetos al aumentar la profundidad, así como de sur a norte. En este trabajo los valores del Indice de Shannon son mayores en profundidades intermedias (20-40 m) e indican que la mitad del área de estudio presenta valores moderadamente altos de diversidad, superiores a 2.41 bits/ind. De manera general, la diversidad mostró 3 zonas: a) valores de 1.65 a 2.40 principalmente en el centro y este de la bahía b) 2.41 a 2.80 en la zona central al fondo y la boca y c) valores superiores a 3.00 en la zona noroeste.

El MDS corroboró los resultados del dendrograma, confirmando una separación entre las estaciones de la boca y cercanas a la boca de la bahía (más profundas), de las demás estaciones. Asimismo, separó las estaciones de la sección este y oeste, indicando que las condiciones son diferentes. Esto indicaría que la composición y estructura de los ensamblajes de poliquetos no son los mismos en toda la bahía, diferencias en el Eh, porcentaje de materia orgánica, granulometría y profundidad, favorecen diferentes agrupaciones de especies, sin embargo los valores más altos de abundancia y diversidad se localizaron en la zona oeste.

En conclusión, Bahía Magdalena alberga una poliquetofauna abundante, diversa, y extensamente distribuida en la zona de estudio. La riqueza específica fue variable (8 a 33 especies por estación), con los valores más altos en la parte noroeste donde las concentraciones de materia orgánica fueron más elevadas. La mayor diversidad de familias (18) también se encontró en la zona noroeste. El grupo trófico dominante fue el de los sedimentívoros, seguido de los carnívoros. En la zona de la boca y alrededores, la composición de las comunidades de poliquetos puede ser indicativa de una zona ligeramente estresada debido al patrón de corrientes que genera un importante hidrodinamismo. Las comunidades de poliquetos presentan diferencias en la zona este y oeste de la bahía, las proporciones relativas de especies son distintas.

El 30% de las estaciones corresponden a un ambiente muy favorable y estable para el desarrollo de poliquetos, el 52% corresponde a un ambiente constante con cierto grado de estrés ambiental y el 18% restante a un ambiente moderadamente favorable e inestable.

La poliquetofauna es un componente importante de los ecosistemas marinos que realiza diversos servicios ecológicos como, por ejemplo, proveer presas para peces y otros depredadores marinos, reciclar gran parte de la materia orgánica de la zona litoral, a través de la bioturbación modifica la geoquímica sedimentaria. Los resultados del presente trabajo indican que aproximadamente 80% de la zona estudiada de Bahía Magdalena representa un ambiente íntegro (poco perturbado), mientras que el 20% restante corresponde a moderadamente perturbado.

Resta mucho trabajo por hacer para conocer la diversidad biológica, estructura, funcionamiento y variaciones espacio-temporales del zoobentos de esta región. Esta información es fundamental para definir estrategias para la conservación de la biodiversidad marina.

*Agradecimientos:* El primer autor agradece el apoyo prestado durante la recolecta de muestras a los participantes en el Crucero SIMSUP realizado en Diciembre 1996. También se agradece a J Domínguez y F Ponce por el apoyo en la elaboración de figuras.

#### LITERATURA CITADA

- Alcolado MP (1992) Sobre la interpretación del ambiente marino mediante el empleo de los índices de diversidad y equitatividad. Cienias Biológicas 24:124–127
- Bellan G, Desrosiers G, Wilsie A (1988) Use of an Annelid Pollution Index for monitoring a moderately polluted littoral zone. Mar Poll Bull 19:662-665
- Bergen M, Weisberg S, Smith R, Cadien D, Dalkey A, Montagne D, Stull J, Velarde R, Ranasinghe J (2001) Relationship between depth, sediment, latitude and the structure of benthic infaunal assemblages of southern California. Mar Biol 138:637-647
- Blake JA, Hilbig B, Scott P (Eds) (1994) Taxonomic atlas of the Benthic Fauna of the Santa Maria Basin and Western Santa Barbara Channel, Vol. 4, The Annelida Part 1, Oligochaeta and Polychaeta: Phyllodocida (Phyllodocidae to Paralacydoniidae). Santa Barbara Museum of Natural History, Santa Barbara, CA
- Blake JA, Hilbig B, Scott P (Eds) (1995) Taxonomic Atlas of the Benthic Fauna of the Santa Maria Basin and Western Santa

Barbara Channel, Vol. 5. Santa Barbara Museum of Natural History, Santa Barbara, CA

- Blake JA, Hilbig B, Scott P (Eds) (1996) Taxonomic Atlas of the Benthic Fauna of the Santa Maria Basin and Western Santa Barbara Channel, Vol. 6, The Annelida Part 3, Polychaeta: Orbiniidae to Cossuridae. Santa Barbara Museum of Natural History, Santa Barbara, CA
- Blake JA, Hilbig B, Scott P (Eds) (2000) Taxonomic Atlas of the Benthic Fauna of the Santa Maria Basin and Western Santa Barbara Channel, Vol. 7, The Annelida Part 4, Polychaeta: Flabelligeridae to Sternaspidae. Santa Barbara Museum of Natural History, Santa Barbara, CA
- Bray JR, Curtis T (1957) An ordination of the upland forest communities in southern Wisconsin. Ecological Monographs 27:325–349
- Byers SC, Mills E, Stewart P (1978) A comparison of methods to determine organic carbon in marine sediments with suggestions for a standard method. Hidrobiologia 58:43–47
- Carrasco F (1997) Sublitoral macrobenthic fauna of Punta Coloso, Antofagasta, northern Chile: high persistence of the polychaeta assemblage. Bulletin of Marine Science 60:443-459
- Clarke K, Warwick R (2001) A further biodiversity index applicable to species lists: variation in taxonomic distinctness. Mar Ecol Prog Ser 216:265-278
- Clarke K, Warwick R (2001a) Change in Marine Communities: An Approach to Statistical Analysis and Interpretation. Plymouth Marine Laboratory, Plymouth, UK
- Dauer D, Maybury C, Ewing R (1981) Feeding behavior and general ecology of several spionid polychaetes from the Chesapeake bay. J Exp Mar Biol Ecol 54:21-38
- Díaz-Castañeda V, Frontier S, Arenas V (1993) Experimental re-establishement of a soft-botton community following defaunation by pollution. Utilization of multivariate analyses to characterize different benthic recruitments. Estuar Coast & Shelf Sci 37:387-402
- Díaz-Castañeda V, de León JA, Solano E (2005) Structure and composition of the polychate community from Bahía San Quintín, Pacific coast of Baja California, Mexico. Southern Calif. Academy of Sciences 104 (2): 75-99.
- Díaz-Castañeda V, Harris L (2004) Biodiversity and structure of the Polychaete fauna from Bahía Todos Santos, Baja California, Mexico. Deep-Sea Research II. 51:827-847
- León-González JA (1990). *Eunice orensanzi*, a new eunicid polychaete from the western coast of Baja California Sur, Mexico: with a key to the known mexican species of Eunice. Rev Biol Trop 38:259 266
- León-González JA (1991) Poliquetos de fondos blandos de la costa occidental de Baja California Sur, México. I Pilargidae. Cah Biol Mar 32:311-321
- León-González JA (1994) Soft bottom polychaetes from the western coast of Baja California Sur, Mexico. 4 Onuphidae. Cah Biol Mar 35:57-67
- León-González JA (1998) Spionidae and Opheliidae (Annelida: Polychaeta) from the western coast of Baja California, Mexico. Bull Mar Sci 60:7-16
- León-González JA, Góngora-Garza G (1992) Soft-bottom polychaetes from the western coast of Baja California Sur, México. 3. A new species of *Ceratocephale* (Nereididae). Cah Biol Mar 33:417-424
- León-González JA, Hernández-Guevara N, Rodríguez-Valencia JA (2006) Paraonidae (Polychaeta) from Western Mexico. J Mar Biol Assoc UK 86:253-262
- León-González JA, Rodríguez-Valencia JA (1996) Orbiniidae (Polychaeta) from soft bottom of the western coast of Baja California Peninsula, Mexico. Bull Mar Sci 58:169-174

- León-González JA, Solís-Weiss V (2000) A review of the Polychaete family Nereididae from western Mexico. Bull Mar Sci 67:1-20
- Elías R, Bremen C, Vallarino E (2001) Polychaetes from a southwestern shallow shelf Atlantic area (Argentina, 38 S) affected by sewage discharge. Rev Chil Hist Nat 74:58-63.
- Ellingsen KE (2001) Biodiversity of a continental shelf soft sediment macrobenthos community. Mar Ecol Prog Ser 218:1– 15
- Fauchald K (1977) The polychaete worms: Definitions and keys to the Orders, Families and Genera. Nat Hist Mus Los Angeles City Sci Ser.28:1-190
- Fauchald K, Jumars PA (1977) The diet of Works: A study of polychaete feeding guilds. Oceanogr Mar Biol Ann Rev 17:193-284
- Frontier S (1985) Diversity and structure in aquatic ecosystems, Oceanography and Marine Biology Annual Review 23:253-312
- Gaston GR (1987) Benthic polychaeta of the Middle Atlantic Bigth: feeding and distribution. Mar Ecol Progr Ser 36:251-262
- Gray J (2002) Species richness of marine soft sediments. Mar Ecol Prog Ser 244:285–297
- Hartman O (1968) Atlas of the Errantiate Polychaetous Annelids from California. A. Hancock Foundation, Univ. of Southern California, Los Angeles
- Hartman O (1969) Atlas of the Sedentariate Polychaetous Annelids from California. A. Hancock Foundation, Univ. of Southern California, Los Angeles
- Hernández-Guevara N (1997) Distribución y abundancia de Poliquetos sedentarios (Annelida: Polychaeta) en relación con la Central Termoeléctrica Petacaclco (Bahía Petacalco, Guerrero, México). Tesis Maestría CICESE
- Maurer D, Williams S (1988) Deep-Sea polychaetous Annelida from Central America to the Antarctic Peninsula and South Sandwich Islands. Int Revue Ges Hydrobiol 73:659-701
- Parrish R, Craig S, Bakun A (1981) Transport mechanisms and reproductive success of fishes in California Current. Biol Oceanogr 1 :175-203
- Pielou EC (1977) Mathematical Ecology. Wiley, New York
- Pocklington P, Wells PG (1992) Polychaetes. Key taxa for Marine Environmental Quality Monitoring. Mar Poll Bull 24:593-598
- Reish D, Gerlinger TV (1997) A review of the toxicological studies with polychaetous annelids. Bull Mar Sci 60:584-607
- Ríos C, Mutschke E, Morrison E (2003) Biodiversidad bentónica sublitoral en el estrecho de Magallanes, Chile. Rev Biol Mar y Oceanogr 38:1-12
- Rodríguez, V., Martínez R, Macías V (2003) Polychaete community structure of the northwestern coast of Mexico: patterns of abundante and distribution. Hydrobiol 496:385-399
- Rodríguez-Cajiga S (1993) Macrofauna de la Laguna Barra de Navidad, Jalisco, p. 499-508. <u>In</u> S. Salazar-Vallejo & N.E. González (eds). Biodiversidad Marina y Costera de México. Com Nal para el Conocimiento y Aprovechamiento de la Biodiversidad & Cent Invest de Quintana Roo, México, D. F.
- Rodríguez-Valencia A (1997) Análisis de Poliquetos errantes (Annelida: Polychaeta) en relación con la Central Termoeléctrica Petacalco, Guerrero, México. Tesis Maestría CICESE
- Salazar-Vallejo S, de León-González JA, Salaices-Polanco H (1989) Poliquetos (Annelida: Polychaeta) de Mexico. Universidad Autónoma de Baja California Sur, La Paz, BCS Mexico
- Salinas-González F, Pinet-Plascencia R (1991) Corrientes geostróficas frente a Bahía Magdalena, Baja California Sur, México. Inv Mar CICIMAR 6:251-257

Sánchez-Rodríguez I, Fajardo-León MI, Pantoja CO (1989) Estudio florístico estacional de las algas en Bahía Magdalena, B.C.S., México. Invest Mar CICIMAR 4:35-48

- Shannon CE, Weaver W (1963) The mathematical theory of communication. Univ. Illinois Press, Urbana
- Snelgrove P, Blackburn TH, Hutchings PA, Alongi DM, Grassle J, Hummel H, King G, Koike I, Lambshead P, Ramsing N, & Solis-Weiss V (1997) The importance of marine sediment

biodiversity in ecosystem processes. AMBIO 26:578-583 Snelgrove PV (1998) The biodiversity of macrofaunal organisms in marine sediments. Biodiver Conserv 7:1123-1132

Sokal R, Rohlf FJ (1995) Biometry. Freeman. New York

Villora-Moreno S (1997) Environmental; heterogeneity and the biodiversity of Polychaeta. Bull Mar Sci 60:494-502

Volckaert F (1987) Spatial patterns of soft-bottom polychaeta off Nova Scotia, Canada. Mar Biol 93:627-639

Díaz–Castañeda V, De León–González JA (2007) Comunidades de anélidos poliquetos de Bahía Magdalena. En: Funes-Rodríguez R, Gómez-Gutiérrez J, Palomares-García R (eds) Estudios ecológicos en Bahía Magdalena. CICIMAR-IPN, La Paz, Baja California Sur, México, p 91-100

Familia	Especie
Ampharetidae	Eclysippe vanelli (Fauvel 1936)
Capitellidae	Anotomastus gordioides (Moore 1909)
	Capitella ovinicola Hartman 1947
	Capitelletus sp.
	Mediomastus californiensis Hartman 1944
	Neoheteromastus lineus Hartman 1960
	Notomastus (Clistomastus) tenuis Moore 1909
Cirratulidae	Aphelochaeta glandaria Blake 1996
	Aphelochaeta monilaris (Hartman 1960)
	Caulleriella cristata Blake 1996
	Caulleriella hamata (Hartman 1948)
	Caulleriella pacifica Berkeley 1929
	Chaetozone corona Berkeley & Berkeley 1941
	Chaetozone gracilis (Moore 1923)
	Chaetozone hartmanae Blake 1996
	Chaetozone setosa Malmgren 1867
	Chaetozone spinosa Moore 1903
	Montichellina cryptica Blake 1996
	Montichellina ca serratiseta (Banse & Hobson 1968)
	Montichellina tesselata (Hartman 1960)
Cossuridae	Cossura brunnea Fauchald 1972
	Cossura candida Hartman 1955
Dorvilleidae	Dorvillea (Schistomeringos) annulata (Moore 1906)
	Dorvillea (Schistomeringos) longicornis (Ehlers 1901)
Eulepethidae	Grubeulepis mexicana (Berkeley & Berkeley 1939)
Eunicidae	Eunice americana Hartman 1944
	Eunice antennata (Lamark 1818)
Flabelligeridae	Pherusa papillata (Johnson 1901)
	Therochaeta pacifica Fauchald 1972
Glyceridae	Glycera capitata Orsted 1843
	Glycera rouxii Audouin & Milne-Edwards 1833
	Glycera tesselata Grube 1863
Hesionidae	Podarkeopsis brevipalpa (Johnson 1901)
Lumbrineridae	Erano lagunae (Fauchald 1970)
	Lumbrineris cedroensis Fauchald 1970
	Lumbrineris crassidentata Fauchald 1970
Magelonidae	Magelona californica Hartman 1944

mere in mistado idumistico de políquetos presentes en Duma Magadien
---

Continuación Anexo 1.

Familia	Especie
Nephtyidae	Aglophamus verrilli (McIntosh 1885)
	Nephtys caeca (Fabricius 1780)
	Nephtys caecoides Hartman 1938
	Nephtys californiensis Hartman 1938
	Nephtys sp.
Nereididae	Ceratocephale papillata de León-González & Góngora-Garza 1993
	Neanthes micromma Harper 1979
	Nereis falsa Quatrefages 1865
	Nereis zonata Malmgren 1867
	Nereis sp.
	Platynereis dumerilii (Audouin & Milne-Edwards 1833)
Oenonidae	Arabella protomutans Orensanz 1990
	Drilonereis longa Webster 1879
Onuphidae	Diopatra farallonensis Fauchald 1968
-	Diopatra obliqua Hartman 1944
	Diopatra tridentata Hartman 1944
	Kinbergonuphis vermillionensis (Fauchald 1968)
	Mooreonuphis elsiae de León González 1994
	Mooreonuphis peruana (Hartman 1944)
Ophelidae	Ophelina cylindricaudata Hansen 1882
Orbiniidae	Leitoscoloplos kerguelensis (McIntosh 1885)
	Phylo felix Kinberg 1866
	Scoloplos (Leodamas) sp.
Paraonidae	Aedecira alisetosa Fauchald 1972
	Aricidea (Acesta) lopezi (Berkeley & Berkeley 1956)
	Aricidea longicirrata Hartmenn Schröder 1965
	Aricidea minima Strelzov 1973
	Aricidea neosuecica Hartman 1965
	Aricidea sp.1
	Aricidea sp. 2
	Cirrophorus branchatus Ehlers 1908
	<i>Cirrophorus magdalenaensis</i> de León González et al. 2006
Phyllodocidae	Phyllodoce pettibonea Blake 1988
Pilargidae	Parandalia evelinae de León González1991
Pisionidae	Pisione remota (Southern 1914)
Serpulidae	Hydroides sp. 1
Sabellidae	Megalomma pigmentum Reish 1963
Spionidae	Apoprionospio pygmaea (Hartman 1961)
-	Dipolydora socialis (Shmarda 1861)
	Microspio sp. 1
	Paraprionospio pinnata (Ehlers 1901)
	Prionospio (Minuspio) cirrifera (Wiren 1883)
	Prionospio (Minuspio) ligthi Maciolek 1985
	Prionospio steenstrupi Malmgren 1867
	Pseudopolidora kempi (Southern 1921)
	Scolelepis squamata (Müller 1806)
	Spiophanes bombyx (Claparède 1870)
	Spiophanes missionensis Hartman 1941
Terebellidae	Streblosoma crassibranchiaTreadwell 1914
Trichobranchidae	Terebellides californica Williams 1984

# Ecología de la fanerógama *Zostera marina* en el sistema lagunar Bahía Magdalena-Bahía Almejas

Noé Abraham Santamaría–Gallegos<sup>1,\*</sup>, Esteban F. Félix–Pico<sup>2</sup>, José Luis Sánchez–Lizaso<sup>1</sup>, Rafael Riosmena–Rodríguez<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Depto. Ciencias del Mar y Biología Aplicada. Unidad de Biología Marina. Universidad de Alicante, AP. Correos 99, E-03080 Alicante, España <sup>2</sup> Depto. Pesquerías y Biología Marina. Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas, Instituto Politécnico Nacional, Av. IPN s/n. Col Playa Palo de Sta. Rita, AP. 592, La Paz, 23096, Baja California Sur <sup>3</sup> Depto de Biología Marina. Universidad Autónoma de Baja California Sur, Carretera al Sur Km 5.5. AP. 19-B, La Paz, 23080, Baja California Sur

RESUMEN: La distribución de Zostera marina Linnaeus dentro del sistema lagunar de Bahía Magdalena-Bahía Almejas ocurre en áreas someras (<10 m de profundidad) y la variación estacional de su biomasa indica que el ambiente es más favorable desde el invierno hasta principio del verano. La variación espaciotemporal en biomasa y densidad de haces se explica principalmente por los cambios en disponibilidad de luz y temperatura del agua, lo cual es consistente con la naturaleza subtropical del sistema lagunar Magdalena-Almejas, que además, es el límite sur de distribución latitudinal de esta especie. Z. marina tiene relaciones ecológicas importantes con diversas especies de invertebrados, peces y aves, algunas de las cuales son especies explotadas comercialmente y otras son especies clave para la conservación de la biodiversidad. Z. marina es sensible al impacto de diferentes actividades humanas, por lo que requiere de protección y prevención.

PALABRAS CLAVE: Fanerógamas marinas · Pastos marinos · Zostera marina · Bahía Magdalena

ABSTRACT: Ecology of the seagrass *Zostera marina* in the lagoon system of Bahía Magdalena-Bahía Almejas. The distribution of the seagrass *Zostera marina* Linnaeus within the Lagoon System of Bahía Magdalena-Bahía Almejas occurs in areas shallower than 10 m depth. Seasonal biomass variation indicates that the environment is more favorable between winter and early summer. The biomass and shoot density variability in space and time of *Z. marina* can be explained mainly by the changes in light availability and water temperature. This is related with the subtropical nature of the Magdalena-Almejas system which is the Southern limit of geographic distribution of this species. *Z. marina* has significant ecological relations with diverse species of invertebrates, fishes and birds. Some of those species have commercial importance and others are species of high value for the biodiversity conservation. *Z. marina* is sensitive to the impact of different human activities; therefore it requires protection and prevention actions.

KEYWORDS: Marine Phanerogams · Seagrass · Zostera marina · Bahía Magdalena

# **INTRODUCCIÓN**

En el sistema lagunar de Bahía Magdalena-Bahía Almejas la presencia de fanerógamas marinas ha sido documentada por varios investigadores (Félix-Pico 1993, Riosmena-Rodríguez & Sánchez-Lizaso 1996, Santamaría -Gallegos et al. 2003, Saad-Navarro & Palacios-Castro 2004, Muñiz-Salazar et al. 2005, Santamaría-Gallegos 2007), sin embargo hasta la fecha es poco lo que se sabe de las especies presentes y no se conocen con precisión los aspectos básicos de su ecología al interior de Bahía Magdalena. Zostera marina L. es la especie de fanerógama con mayor abundancia dentro del sistema lagunar y ha sido motivo del mayor número de estudios (Santamaría-Gallegos et al. 2003, Muñiz-Salazar et al. 2005).

\*Correo electrónico: noe.santamaria@ua.es

En el presente estudio se presenta la información disponible sobre Zostera marina que resulta relevante para comprender su distribución, variabilidad y relaciones con otros organismos, incluyendo desde los conceptos básicos sobre fanerógamas marinas hasta los estudios más recientes dentro del sistema Magdalena-Almejas. Asimismo se hacen algunas referencias sobre otras especies de fanerógamas, como de su flora y fauna asociadas que habitan al interior del sistema lagunar. Con ello se pretende exponer el estado de conocimiento sobre fanerógamas marinas del sistema lagunar Bahía Magdalena-Almejas y sentar las bases para definir nuevas líneas de investigación.

Las fanerógamas marinas, conocidas comúnmente como pastos marinos, son angiospermas capaces de completar su ciclo de vida sumergidas en agua marina, incluyendo el proceso de polinización y la germinación. Las fanerógamas marinas son típicas del medio marino y son mejores competidoras que las plantas acuáticas estuarinas cuando están en un ambiente salino (Kuo & den Hartog 2000).

El nombre de pastos marinos se debe a sus rasgos morfológicos externos, pero pertenecen a familias propias de ambientes acuáticos (Kuo & den Hartog 2001). Se conocen 60 especies de fanerógamas marinas agrupadas en 4 familias: (1) Zosteraceae (tres géneros), (2) Posidoniaceae (un género), (3) Cymondoceae (cinco géneros) y (4) Hydrocharitaceae (tres géneros). Las tres primeras familias se componen exclusivamente de especies marinas, excepto la (4), que incluye también otros catorce géneros que son estuarinas o dulceacuícolas). Estas cuatro familias están incorporadas en la División Magnoliophyta (Angiospermas) y la Clase Liliopsida (Monocotiledóneas) (Kuo & den Hartog 2001). Las fanerógamas marinas divergieron de sus antepasados terrestres en el periodo Cretácico y constituyen un sólo grupo polifilético (Les et al. 1997). Por lo tanto se trata de un grupo ecológico y no de un solo grupo taxonómico (Kuo & den Hartog 2000). La distribución geográfica de las especies de fanerógamas marinas muestra que existen algunos grupos de especies de afinidad frío-templada y otros de afinidad tropical (Short et al. 2001, Green & Short 2003).

Las fanerógamas marinas se desarrollan en aguas marinas bien iluminadas de las zonas intermareal y sublitoral. Algunas especies viven hasta más de 20 m de profundidad (Kuo & den Hartog 2000). Estas ocupan amplias extensiones de zonas litorales en diferentes regiones del mundo, particularmente en aguas con baja intensidad de oleaje, como bahías y lagunas costeras. Su elevada producción primaria representa una importante contribución a la cantidad de carbono total que ingresa a los ecosistemas costeros, y soporta una significativa producción secundaria representada fundamentalmente por organismos herbívoros, detritívoros y filtradores (Zieman 1982, Orth & van Montfrans 1987, Thresher et al. 1992, Rivera-Arriaga et al. 2003, Valentine & Heck Jr 1999).

Por ser plantas superiores, presentan un sistema vegetativo compuesto de raíces, sistema vascular (rizoma) y hojas (Fig. 1); lo que les permite tener una dinámica relevante en el reciclaje y almacenamiento de nutrientes, ya que pueden asimilar las sustancias nutritivas y liberar productos secundarios tanto por las hojas como por las raíces y rizomas (Zieman 1982, Phillips & Meñez 1988, Ibarra-Obando & Ríos 1993).

La estructura de sus raíces y rizomas favorece la estabilización del sedimento y su follaje atenúa el efecto erosivo de las corrientes marinas y el oleaje, aumentando así la tasa de sedimentación (Fig. 1). Además proporcionan sustrato para el establecimiento de organismos epifitos, los cuales diversifican la estructura del hábitat y sustentan una diversa comunidad biótica (Ibarra-Obando & Ríos 1993).



Fig. 1. Estructura vegetativa de la fanerógama Zostera marina L. Se muestran partes epigeas en el agua (hojas agrupadas en haces), e hipogeas dentro del sedimento (raíces y rizomas). Se ilustran también algunos detalles de la comunidad asociada (epifitos, peces e infauna). Figura modificada de Kenworthy & Thayer (1984)

# Fanerógamas marinas del sistema Magdalena-Almejas

Zostera marina es la especie más conspicua dentro del sistema Magdalena-Almejas y se observa con frecuencia en la zona submareal somera. Esta especie posee rizoma rastrero con internudos de 1 a 3 cm y sus hojas pueden alcanzar hasta 3 m de largo y de 3 a 12 mm de ancho (Fig. 1). De acuerdo a estas dimensiones se le considera una especie de tamaño moderado a robusto (Kuo & den Hartog 2001).

En Bahía Magdalena-Almejas, las dimensiones de sus hojas muestran una amplia variedad, entre 10 y 73 cm de largo y de 2 a 5 mm de ancho en promedio (Santamaría Gallegos 2007). El ápice de la hoja es redondeado o ligeramente puntiagudo. Los haces reproductivos son muy ramificados, más largos que los vegetativos y pueden alcanzar hasta 4 m de largo. La mayoría de las poblaciones de *Zostera marina* son perennes, pero también existen poblaciones anuales (Meling-López & Ibarra-Obando 1999, Santamaría-Gallegos et al. 2000, Kuo & den Hartog 2001).

Zostera marina es una de las especies de fanerógamas marinas con más amplia distribución geográfica en las costas templadas y frías del hemisferio norte del Océano Pacífico y el Atlántico. En el Pacífico oriental, se presenta desde el Mar de Bering hasta Baja California Sur y el Golfo de California. Por lo general esta especie habita en aguas protegidas, tales como lagunas costeras y bahías (Phillips & Meñez 1988, Green & Short 2003). Z. marina ha sido motivo de diferentes estudios a lo largo de la península de Baja California y el Golfo de California. Un aspecto relevante es que forma praderas perennes en localidades de la costa del Pacífico (Poumian-Tapia & Ibarra-Obando 1999, Cabello-Pasini et al. 2003, Santamaría-Gallegos et al. 2003), mientras que en las costas del Golfo de California todas las poblaciones conocidas son anuales y las praderas que forma sólo están presentes desde el final del otoño a primavera, y el resto del año viven únicamente en forma de semillas, lo cual parece estar determinado por la alta temperatura del agua durante el verano (Meling-López & Ibarra-Obando 1999, Santamaría-Gallegos et al. 2000)

Dentro del sistema Magdalena-Almejas también está presente *Ruppia maritima* L. (Tabla 1), la cual forma praderas uniespecíficas o vive asociada a *Zostera marina*. En el litoral exterior del sistema Bahía Magdalena viven otras dos especies de fanerógamas marinas: *Phyllospadix torreyi* Hooker y *P. scouleri* S. Watson (Tabla 1). Las fanerógamas del género *Phyllospadix* están adaptadas para establecerse y vivir sobre sustratos rocosos expuestos al oleaje intenso (Phillips & Meñez 1988, Kuo & den Hartog 2001).

El sistema Bahía Magdalena-Almejas esta compuesto por lagunas de dos tipos: (1) de plataforma interna de barrera y (2) tectónicas (Lankford 1977). Las lagunas de barrera son hábitats favorables para las praderas de fanerógamas marinas, principalmente por su reducida profundidad (< 10) m y por ser depresiones costeras alineadas con la zona litoral, protegidas del oleaje por barreras arenosas. Este tipo de lagunas se presentan principalmente en el extremo norte del sistema Magdalena-Almejas, en la parte conocida como Laguna Santo Domingo o zona de canales, y con menor extensión en el extremo sureste, en el Estero Rancho Bueno (Fig. 2c).

#### Descripción del área de estudio

Las mareas de Bahía Magdalena son de tipo mixto con una amplitud de 1.5 m entre la pleamar media superior (PMS) y la bajamar media inferior (BMI) (CICESE, calendarios de marea). Los canales interiores, con una profundidad máxima de 10 m, son erosionados por el flujo y reflujo de las corrientes de mareas y están bordeados por zonas someras con profundidad promedio de 3 m. La Laguna Santo Domingo forma una extensa zona compuesta de varias secciones: (1) Las Ánimas, (2) Santo Domingo, (3) La Soledad y (4) La Florida (Fig. 2a y b). Más al norte existen dos lagunas de barrera: (1) Gregorio y (2) San Benito, las cuales no tienen comunicación directa con la Laguna Santo Domingo, pero presentan características ambientales, bióticas y funcionales similares.

Las lagunas de origen tectónico son (1) Bahía Magdalena y (2) Bahía Almejas (Fig. 2). Estas dos lagunas, comunicadas entre sí, están separadas del mar por una barrera constituida principalmente por las islas Magdalena y Margarita originadas por levantamientos rocosos. Bahía Magdalena tiene una profundidad máxima de 45 m en una cuenca con forma de herradura en su parte occidental, y áreas con profundidades < 15 m principalmente sobre los márgenes norte y este de la laguna. Bahía Almejas es comparativamente más somera que Bahía Magdalena, su profundidad máxima es de 28 m y tiene menos influencia oceánica que Bahía Magdalena (Álvarez Borrego et al. 1975, Contreras-Espinosa 1993, Rosales-Villa 2004).

Debido a que los aportes de agua dulce en la zona son prácticamente inexistentes (los escurrimientos por lluvias y huracanes existen sólo en verano-otoño), el sistema Magdalena-Almejas es de tipo antiestuarino, y su comportamiento hidrológico es consistente con su condición antiestuarina y subtropical; la salinidad siempre es mayor de 34 y la temperatura varía entre 17° y 29° C entre invierno y verano. En las zonas de menor profundidad, como en la Laguna de Santo Domingo, Bahía Almejas y Rancho Bueno, la temperatura y salinidad del agua presentan valores más altos que en la zona de Bahía Magdalena (Álvarez-Borrego et al. 1975, Lluch-Belda et al. 2000).

La cantidad de partículas suspendidas y la transparencia del agua muestran un patrón similar al de la temperatura; la mayor concentración de material particulado y la menor transparencia se presentan en las zonas someras, donde existe menor recambio de agua y se presentan la mayor concentración de material particulado y la menor transparencia (Aguirre-Baena et al 2002, Rosales-Villa 2004). En las lagunas de Santo Domingo y La Soledad se presentan gradientes hidrológicos con valores máximos de salinidad y temperatura en las zonas más distantes de las bocas (Álvarez-Borrego et al. 1975). Esta condición se debe a

Tabla 1. Fanerógamas marinas presentes en el sistema lagunar de Bahía Magdalena-Bahía Almejas

División Magnoliophyta, Clase Liliopsida, Orden Najadales					
Familia	Especie	Observaciones			
	Zostera marina L.	Especie dominante			
Zosteraceae	Phyllospadix scouleri Hooker P. torreyi S. Watson	Presencia sólo en el litoral exterior del sistema lagunar			
Ruppiaceae	Ruppia maritima L.	Relativamente baja abundancia			



Fig. 2. Ubicación de las lagunas de barrera arenosa presentes en el sistema lagunar Bahía Magdalena-Bahía Almejas. En la parte superior izquierda se muestra el Sistema completo con detalle de diferentes áreas: (a) Laguna Santo Domingo, (b) Laguna La Soledad (Estero San Gil) y (c) Estero Rancho Bueno. Se muestran algunas localidades referidas en el texto. Los sitios donde se ha estudiado Zostera marina se indican con un asterisco

que las corrientes de marea tienen sentidos opuestos, convergen durante el flujo y divergen durante el reflujo, de manera que reducen considerablemente el recambio de agua con el exterior de la laguna (Phleger 1969). En la Laguna de Santo Domingo se ha documentado que este proceso ocurre cerca de las localidades "Las Vacas" y "La Curva del Diablo" (Phleger 1969) (Fig. 2a y b), y coincide con los gradientes hidrológicos observados (Álvarez-Borrego et al. 1975). Debido a la menor erosión por corrientes estos sitios son también los más someros de la "Zona de Canales". El Estero Banderitas también presenta un bajo recambio de agua y condiciones de confinamiento respecto a los factores hidrológicos mencionados anteriormente.

# Requerimientos ambientales de las fanerógamas marinas

Los factores ambientales que determinan la presencia de las fanerógamas marinas e influyen en su productividad y desarrollo son múltiples. Los principales factores son: (1) disponibilidad de luz, (2) salinidad, (3) temperatura, (4) concentración de nutrimentos, (5) amplitud de marea y (6) tipo de sustrato (Kuo & den Hartog 2000, Short et al. 2001). El análisis de factores ambientales se realiza con datos de variabilidad espacial, y los cambios estacionales en densidad de haces, biomasa y reproducción de las fanerógamas marinas en tres localidades: (1) Puerto López Mateos (Estero La Soledad), (1) El Cuervo (parte norte del Estero San Carlos), y (3) Estero Rancho Bueno (extremo sureste de Bahía Almejas). En la Tabla 4 se muestran valores promedio de estos indicadores en diferentes fechas años (Santamaría-Gallegos 2007).

**Disponibilidad de luz.** La profundidad máxima hasta donde la intensidad de luz es suficiente para sustentar la supervivencia de alguna población de fanerógamas marinas se conoce como profundidad de compensación (PC). La PC depende fundamentalmente de la transparencia del agua y el requerimiento mínimo de luz de cada especie (Dennison et al. 1993). Su valor es menor cuanto más alto es el coeficiente de atenuación de la luz difusa en la

columna de agua (K<sub>d</sub>), pues implica menor transparencia del agua (Tabla 2). La PC puede estimarse con el valor promedio del K<sub>d</sub> (Dennison et al. 1993, Kenworthy & Fonseca 1996). De acuerdo con los datos de varias localidades (Tabla 2), la relación entre la profundidad de compensación de *Zostera marina* y el K<sub>d</sub> se ajusta al modelo:  $PC = -4.35 \cdot Ln (K_d) + 0.73 (r^2 = 0.80).$  Sin embargo, en el sistema lagunar Magdalena-Almejas no se cuenta con datos de K<sub>d</sub> en la columna de agua, sólo se tienen datos de transparencia medida mediante el disco de Secchi (Tabla 3) (Félix-Pico 1993, Rosales-Villa 2004). Por ello y para alimentar el modelo de atenuación anterior con datos de  $K_d$  (m<sup>-1</sup>), el coeficiente de atenuación se calculó mediante la relación:  $K_d = \frac{1.65}{profundidad de Secchi}$  (Dennison et al. 1993). Las estimaciones de la profundidad de compensación tienen un grado de imprecisión porque no consideran otros factores como el efecto de sombra dentro de la pradera, las adaptaciones fisiológicas, latitud, clima o régimen de mareas, sin embargo sirven como referencia general para comprender la distribución y variabilidad de Z. marina dentro del sistema Magdalena-Almejas.

**Salinidad**. El óptimo de salinidad de Zostera marina está entre 25 y 35, aunque puede seguir creciendo en agua con salinidad <10 y >40 (Pinnerup 1980). **Temperatura**. Los límites de tolerancia térmicos de Zostera marina están determinados por su afinidad frío-templada. Su intervalo óptimo de temperatura está entre 5° y 25° C, con valores extremos de tolerancia de 0° y 30° C (Setchell 1929). Diferentes estudios experimentales muestran que una temperatura >25° C restringe el crecimiento de la especie, aunque la combinación de diferentes factores, como la duración de los periodos con una alta temperatura y la reserva energética en las plantas permite que las plantas sobrevivan incluso hasta los 30° C (Marsh et al. 1986, Zimmerman et al. 1989). Existen varias localidades alrededor del mundo donde se ha registrado la presencia de *Z. marina* en temperatura estival cercana a los 30° C, con lo que se comprueba su capacidad de resistencia térmica (Setchell 1929, Kenworthy & Fonseca 1992).

**Nutrimentos**. Los nutrimentos son necesarios para el desarrollo de las plantas, principalmente nitrógeno y fósforo. Las fanerógamas marinas tienen capacidad de asimilarlos tanto por las raíces y las hojas. Debido a lo anterior y a que suelen ser abundantes, los nutrimentos sólo son limitantes para el crecimiento de las fanerógamas marinas en condiciones muy particulares (Short 1987, Kenworthy & Fonseca 1992). En el sistema Magdalena-Almejas el contenido de nutrimientos en el sedimento no ha sido estudiado, por lo que no es posible estimar con precisión la influencia de estos elementos sobre la presencia y crecimiento de las fanerógamas marinas.

Tabla 2. Límite máximo de profundidad de *Zostera marina* y coeficiente de atenuación difusa de la luz en varias localidades. Tomado de Dennison et al. (1993)

Localidad	Límite máximo de profundidad	K <sub>d</sub> ; coeficiente de atenuación difusa	
	(m)	(m <sup>-1</sup> )	
Kattegat, Dinamarca	3.7-10.1	0.36 - 0.16	
Roskilde, Dinamarca	2.0 -5.0	0.92 - 0.32	
Dinamarca	1.5 -9.0	1.21 -0.22	
Woods Hole, EUA	6.0	0.28	
Países Bajos	2.5	0.49	
Japón	2.0 -5.0	0.49-0.38	

Tabla 3. Transparencia del agua en Bahía Magdalena y profundidad de compensación estimada para *Zostera marina* en diferentes fechas del año. Se presentan datos del intervalo de variabilidad espacial en cada fecha. Los datos de disco de Secchi fueron tomados de Rosales Villa (2004), el K<sub>d</sub> y la profundidad de compensación se calcularon como se indica en el texto

Fecha	Transparencia disco de Secchi	K <sub>d</sub> , coeficiente de atenuación difusa (m <sup>-1</sup> )	Profundidad de compensación esperada (m <sup>-1</sup> )
Noviembre 2001	4 - 6	0.3 - 0.4	4,6 - 6.4
Febrero 2002	6 - 10	0.2 - 0.3	6.4 -8.6
Mayo 2002	2 - 6	0.3 - 0.8	1.6 - 6.4
Julio 2002	2 - 6	0.3 - 0.8	1.6 - 6.4
Octubre 2002	2 - 6	0.3 - 0.8	1.6 - 6.4

1	06	
-	~ ~	

	abril 2001	julio 2001	octubre 2001	febrero 2002	mayo 2002
Sitios intermareales					
biomasa total	123	219	88	111	165
biomasa epigea	47%	62%	35%	40%	46%
biomasa hipogea	53%	38%	65%	60%	54%
densidad haces	1724	1637	977	1110	1449
esfuerzo reproductivo	6%	3%	0%	3%	6%
Sitios submareales					
biomasa total	137	177	54	172	153
biomasa epigea	66%	61%	28%	60%	68%
biomasa hipogea	34%	39%	72%	40%	32%
densidad haces	758	611	258	652	440
esfuerzo reproductivo	9%	5%	0%	7%	4%

Tabla 4. Abundancia de Zostera marina en el sistema lagunar Bahía Magdalena-Bahía Almejas. Se muestran valores medios calculados con datos de diferentes localidades (Santamaría Gallegos 2007). La biomasa se expresa en g peso seco m<sup>-2</sup> y la densidad en número de haces m<sup>-2</sup>. La biomasa epigea e hipogea son porcentajes respecto al valor de biomasa total. El esfuerzo reproductivo está expresado en porcentaje de haces reproductivos respecto al total de haces

**Mareas**. Zostera marina es una especie que vive principalmente en la zona submareal, pero tiene capacidad de formar praderas estables en la parte baja de la zona intermareal. En praderas submareales el efecto de la bajamar puede derivar en una mayor disponibilidad de luz. Dentro de la zona intermareal, la frecuencia y duración de los periodos en que estas plantas quedan expuestas al aire determinan el mayor nivel del terreno hasta el que puede establecerse Z. marina. El efecto de la marea sobre las fanerógamas marinas en la zona intermareal depende de otros factores como el clima, la permeabilidad del suelo, las corrientes marinas y el oleaje. Las fanerógamas marinas se establecen siempre en zonas con corrientes de marea y oleaje relativamente débiles.

**Tipo de sustrato**. El tipo de sustrato que requiere *Zostera marina* para su desarrollo es variable, pues es capaz de vivir en diferentes sustratos desde arena fina a sedimento arenoso-limoso o arenoso arcilloso, pero esto depende de otras características ambientales como el drenaje del área, la concentración de oxígeno en el agua, el contenido de materia orgánica o la actividad bacteriana entre otros factores.

# Distribución de *Zostera marina* en función de los factores ambientales

De acuerdo a Saad-Navarro & Palacios-Castro (2004) las principales áreas con fanerógamas marinas en el complejo de Bahía Magdalena-Bahía Almejas son: (1) las zonas intermareales de "Las Ánimas", (2) el estero "Santo Domingo", (3) la zona noreste del estero "La Soledad", (4) "La Florida", (5) el noroeste de Bahía Magdalena: "San Carlos" y (6) los bajos al noroeste de la Isla Creciente en Bahía Almejas hasta el estero Rancho Bueno (Fig. 2). Todas estas áreas tienen usualmente profundidades < 5 m (Félix-Pico 1993, Rosales-Villa 2004). En estas zonas la transparencia del agua (disco de Secchi) presenta valores de 4 a 10 m (K<sub>d</sub> = 0.4 a 0.2 m<sup>-1</sup>) en otoño-invierno y valores menores en primavera-verano, de 2 a 6 m (K<sub>d</sub> = 0.8 a 0.3 m<sup>-1</sup>) (Rosales-Villa 2004). En sitios donde el agua tiene menor tasa de recambio la transparencia en verano llega a ser menor de 2.5 m (K<sub>d</sub> = 0.7 m<sup>-1</sup>) (Félix-Pico 1993).

Los valores locales de transparencia del agua en los sitios donde se registra la presencia de Zostera marina indican que dentro del sistema Magdalena-Almejas puede vivir a una profundidad máxima de aproximadamente 4.6 m (profundidad de compensación) (Tabla 3), sin embargo la profundidad máxima en que se ha observado la presencia de Z. marina dentro del sistema es de 6 m bajo el nivel de la bajamar media inferior en la localidad de "El Cuervo" en verano de 2001 (Fig. 2b) (Santamaría-Gallegos 2007); dicho registro indica una transparencia del agua mayor a la registrada ( $K_d < 0.4$ ). Para determinar la causa de esta diferencia se requiere realizar estudios con datos in situ de presenciaabundancia de fanerógamas marinas y de disponibilidad de luz. A partir de ello se puede analizar qué otros factores están determinando la distribución de Z. marina en el sistema Magdalena-Almejas.

La zona somera (< 6 m) se restringe a las márgenes norte y este de Bahía Magdalena. En Bahía Almejas se presenta en las márgenes norte, este y sureste; donde además existe una menor tasa de recambio del agua con respecto a Bahía Magdalena y por esto la transparencia el agua es comparativamente menor (2.5 m, Secchi). De tal forma que el hábitat potencial disponible para *Zostera marina* en Bahía Almejas es menor que en Bahía Magdalena.

En la zona intermareal frente a Puerto López Mateos se observan conspicuos eventos de turbidez del agua que pueden estar limitando el crecimiento de *Zostera marina* (Fig. 2). La suspensión de sedimentos en el agua por viento y mareas en zonas someras puede llegar a atenuar la luz, al grado de inhibir el crecimiento de *Z. marina* (Zharova et al. 2001).

La salinidad en el sistema Magdalena-Almejas se mantiene entre 34 y 36, con valores mayores en la zona de la Laguna Santo Domingo. La máxima salinidad registrada fue 39.2 durante el verano en la zona de "La curva del Diablo" (Fig. 2b) (Álvarez-Borrego et al. 1975). Estos valores son altos, pero están dentro de del intervalo de tolerancia de *Zostera marina* y no impiden su crecimiento y reproducción. La salinidad no actúa como un factor limitante para la especie en el sistema Magdalena-Almejas.

La temperatura del agua en el sistema Magdalena-Almejas oscila entre 17° y 19° C en invierno; y entre 27° C y 30° C en verano (Lluch-Belda et al. 2000). En la temporada invierno-primavera la temperatura se mantiene dentro de los valores óptimos para *Zostera* marina. Sin embargo, entre verano y otoño se presentan condiciones cercanas al límite fisiológico (>25° C). La variación espacial de la temperatura del agua en el sistema de Bahía Magdalena es amplia y puede determinar la presencia de *Z. marina*. En los esteros más someros la temperatura puede ser extrema durante la temporada cálida del año.

En exploraciones realizadas en el "Estero Banderitas" (Fig. 2b) durante abril de 2001, no se encontró evidencia de la presencia de ninguna fanerógama marina y únicamente algunos parches pequeños en 1990 (Félix-Pico 1993). Los registros de temperatura indican que esta es una de las zonas más cálidas del sistema, con 28° C en la boca del estero mientras que en la zona interior supera los 30° C en verano (Félix-Pico 1993, Lluch-Belda et al. 2000); lo cual posiblemente restringe el crecimiento de Zostera marina. Asimismo, la zona comprendida entre el canal de "La Curva del Diablo" y "El Cuervo" es una de las más áreas cálidas del sistema. No obstante, en esa zona se presentan praderas de Z. marina, con una marcada variación estacional caracterizada por la reducción en su densidad de haces y biomasa total a principio de otoño (Tabla 4), justo después de que la temperatura rebasa los 28° C. La transición del periodo cálido a templado al final del otoño, es importante por que la densidad de haces y la biomasa aumentan cuando la temperatura vuelve a disminuir (<25° C) (Santamaría-Gallegos 2007). Un comportamiento similar es observado en la Laguna de Venecia (Italia) y en Beaufort (EEUU), donde la temperatura estival suele ser >  $25^{\circ}$  C (Kenworthy & Fonseca 1992, Zharova et al. 2001). En localidades del Golfo de California las elevadas temperaturas (> $25^{\circ}$  C) tienen un efecto extremo sobre las poblaciones de Z. *marina*, ya que el total de las plantas mueren al final de la primavera y nuevas plantas aparecen a partir de semillas al final del siguiente otoño en el Golfo de California (Meling-López & Ibarra Obando 1999, Santamaría-Gallegos et al. 2000).

Las variaciones térmicas interanuales de la zona nerítica de la península de Baja California son más pronunciadas durante eventos de calentamiento "El Niño" (ENSO). Éstas variaciones tienen una influencia regional sobre la abundancia de fanerógamas marinas del sistema Magdalena-Almejas. En años fríos la abundancia de *Zostera marina* puede ser favorecida, mientras que en años muy cálidos sus praderas pueden ser reducidas considerablemente. Los cambios producto de la variabilidad interanual en la distribución y abundancia de *Z. marina* dentro del sistema lagunar han sido observados, pero su efecto aún no ha sido cuantificado y se requiere de estudios para determinar su magnitud.

La concentración de nutrimentos en el agua varía estacionalmente, al parecer influenciadas por procesos de surgencia desde la plataforma continental, aunque en algunos sitios son afectados por efluentes de plantas industriales pesqueras locales, principalmente en las zonas de San Carlos y López Mateos (Rosales-Villa 2004, Saad-Navarro & Palacios-Castro 2004) (Fig. 2b). Dentro del sistema Magdalena-Almejas los nutrimentos en el agua rara vez son escasos y Zostera marina es capaz de reducir su dependencia de fuentes externas de nitrógeno, dada su habilidad de translocar nitrógeno desde compuestos orgánicos de sus partes senescentes hacia los tejidos de órganos de almacenamiento (Kenworthy & Fonseca 1992). Estas circunstancias indican que posiblemente los nutrimentos no resultan ser un factor limitante para el crecimiento ni la supervivencia de Z. marina en el sistema Magdalena-Almejas.

#### Abundancia y estacionalidad de Zostera marina

De acuerdo con las evaluaciones realizadas en diferentes localidades del sistema Magdalena-Almejas la biomasa presente en zonas intermareales (López Mateos y Rancho Bueno) (Fig. 3) es equiparable a la encontrada en sitios submareales (El Cuervo y Rancho Bueno), pero la densidad de haces es notablemente mayor en sitios intermareales respecto a sitios submareales (Tabla 4). En los sitios intermareales también se observa un mayor porcentaje de biomasa hipogea (rizomas y raíces) que biomasa epigea (hojas e inflorescencias) (Tabla 4). Estos datos sugieren que aunque la capacidad productiva es similar entre ambos ambientes, los mecanismos empleados y las estrategias de vida son diferentes (Meling-López & Ibarra Obando 1999, Santamaría-Gallegos et al. 2000, Santamaría-Gallegos et al. 2003, Santamaría-Gallegos 2007).



Fig. 3. Aspectos de praderas intermareales de *Z. marina* en (a) Puerto López Mateos durante un evento de alta turbidez del agua, (b) Rancho Bueno, donde existen condiciones muy favorables para el desarrollo de esta especie, y (c) en Puerto López Mateos, observándose a fondo la Planta Pesquera de la localidad

En términos generales, la máxima biomasa de las fanerógamas marinas suele presentarse en el verano y la biomasa más baja en invierno (Duarte 1989). Sin embargo, en el sistema lagunar Magdalena-Almejas la menor abunadancia de Zostera marina ocurre entre el final del verano y principio del otoño (Tabla 4), mientras que en invierno se observa un incremento en biomasa y densidad de haces, lo cual es congruente con sus requerimientos térmicos (Setchell 1929, Marsh et al. 1986, Zimmerman et al. 1989).

A principio del otoño, en octubre, la reproducción sexual es nula y se observa menor proporción de biomasa epigea. En sitios intermareales la proporción de biomasa epigea decrece al 19% de la biomasa epigea que existía en julio, mientras que en sitios submareales disminuye sólo en 14%. Este cambio en la asignación de biomasa indica que Zostera marina encuentra un ambiente poco favorable y viven en gran medida con el apoyo de las reservas alimenticias acumuladas en la estación precedente (Santamaría-Gallegos 2007; Santamaría-Gallegos et al. 2003). El resto del año, desde invierno a verano se incrementan la densidad de haces, biomasa y reproducción sexual, además que asignan mayor biomasa a estructuras epigeas (hojas y haces reproductivos), lo cual indica que las condiciones ambientales son más favorables. En otras localidades que son el límite sureño de distribución geográfica de esta especie como en la costa del Atlántico occidental y el Mar Mediterráneo, el patrón de variación estacional de la biomasa de Z. marina es similar al del sistema Magdalena-Almejas (Kenworthy & Fonseca 1992, Guidetti & Bussoti 2000).

La variación estacional y entre zonas de la abundancia parece estar determinada principalmente por el cambio térmico en el agua, sin embargo, también la transparencia del agua puede tener un efecto favorable dado que el agua es menos turbia en primavera y verano, en consistencia con el mayor crecimiento de las fanerógamas marinas (Rosales-Villa 2004, Félix-Pico & García-Domínguez 1993).

#### **Relaciones sinecológicas**

Las comunidades de fanerógamas marinas crean un hábitat con múltiples especies de diferentes niveles tróficos. La distribución de especies de invertebrados epifaunísticos dominantes dentro del sistema Magdalena-Almejas coincide con la presencia de pastos marinos, incluyendo las épocas de reproducción y crecimiento de juveniles de invertebrados (Félix-Pico & García-Domínguez 1993). Las áreas con fanerógamas marinas suelen ser muy estables y con un mayor número de nichos debido a la presencia de refugios en el follaje de las plantas. Asimismo, la cantidad de detritus que se genera en los lechos de fanerógamas incrementa la disponibilidad de alimento de juveniles y adultos respecto a los fondos con sustrato arenoso, carentes de follaje (Félix-Pico 1993, Ibarra-Obando & Ríos 1993).

La especie con mayor valor pesquero es la almeja catarina (*Argopecten ventricosus*), la cual depende en buena medida del hábitat que le proporciona *Zostera marina*. Esta relación es crítica en los primeros estadios de vida de la almeja, debido a que su supervivencia depende de que puedan fijarse a un sustrato suspendido que les ayude a evitar predadores y acceder a mayor cantidad de alimento suspendido (Félix-Pico 1993, Félix-Pico & García-Domínguez 1993, Santamaría-Gallegos et al. 1999, Maeda-Martínez et al. 2001).

Las praderas de *Zostera marina* también sirven de alimento al ganso de collar (*Branta bernicla*). El cual realiza grandes migraciones desde el Ártico hasta regiones templadas y subtropicales y es común encontrarlo en el sistema Magdalena-Almejas durante el invierno (Howell et al. 2001). Debido a lo extenso de su ruta migratoria y su carácter herbívoro, los gansos de collar tienen una alta demanda de alimento durante su migración y dependen de la existencia de sitios que sirvan como áreas de descanso y alimentación donde es imprescindible la presencia de praderas de Z. marina (Ganter 2000). La abundancia de Ruppia maritima en el sistema lagunar es menor que la de Zostera marina. No obstante, sus praderas también son fuente de alimento para estas aves. Se ha observado que este tipo de aves son más comunes es sitios con plantas, que en sitios donde se han eliminado las praderas por acumulación de lodo o relleno de la boca lagunar. R. maritima es considerada como parte de la dieta del ganso de collar y de varias especies de invertebrados (Kantrud 1991).

La tortuga verde (*Chelonia mydas*) también presenta una alta dependencia alimenticia de las fanerógamas marinas. Se ha determinado que se alimenta en una alta proporción de *Zostera marina* y *Phyllospadix* sp y aunque en la región de Bahía Magdalena, *Z. marina* ocupa sólo una baja proporción de la dieta de la tortuga verde, no deja de ser un recurso alimenticio importante para la tortuga verde. En otras regiones *Z. marina* representa casi la totalidad de la dieta de *C. mydas* (López-Mendilaharsu et al. 2005).

La ballena gris (*Eschrichtius robustus*) visita el sistema Magdalena-Almejas durante el invierno para procrear y aunque su alimentación es mínima durante su estadía, su alimento consiste fundamentalmente de anfípodos que obtiene sobre la superficie del fondo marino. Estos organismos son más abundantes sobre zonas con vegetación, por lo cual la ballena toma "bocados" succionando sobre las inmediaciones de las praderas de fanerógamas marinas. Por ello, los lechos marinos de fanerógamas se consideran importantes de acuerdo a los hábitos alimenticios de la ballena gris (Caraveo-Patiño & Soto 2005).

# Otras especies de fanerógamas marinas del sistema Magdalena-Almejas

Ruppia maritima se presenta en la parte inferior de la zona intermareal en diferentes localidades del sistema lagunar. Sus hojas son de 5 a 10 cm de longitud y de 0,3-0,5 mm de ancho y ápice espinuloso-dentado, agudo. En su etapa reproductiva alcanza hasta 40 cm de altura. Es una planta con ciclo de vida anual o perenne. Tiene una amplia distribución geográfica y se le considera una especie cosmopolita. R. maritima no es considerada una verdadera fanerógama marina (Kuo & den Hartog 2000) debido a que con frecuencia se le encuentra en aguas salobres, incluso en lagos interiores salobres (Kantrud 1991). Sin embargo, es capaz de completar su ciclo de vida viviendo sumergida en agua marina. R. maritima no ha sido estudiada en el sistema Magdalena-Almejas, pero de acuerdo con algunas observaciones, presenta un patrón estacional similar a Zostera marina, aunque la distribución de *R. maritima* está restringida a zonas con reducida intensidad de corrientes y oleaje y con profundidad < 1 m por debajo de la bajamar media inferior. Su biomasa suele ser considerablemente menor a *Zostera marina*. Las plantas de *R. maritima* que crecen en ambientes favorables son generalmente más grandes, tienen hojas más anchas y producen relativamente pocas semillas (Kantrud 1991). En el sistema Magdalena-Almejas, *R. maritima* produce una gran cantidad de semillas, por lo que se pudiera inferir que no es un ambiente completamente favorable, sin embargo se requiere de estudios para determinar con precisión la influencia del ambiente sobre esta especie dentro de este sistema lagunar.

Phyllospadix torreyi y P. scouleri viven fuera del sistema lagunar Magdalena-Almejas, en costas expuestas al intenso oleaje de la costa del Océano Pacífico. Ambas especies tienen el mismo límite sureño de distribución en el Pacífico Oriental: Isla Margarita (24° 31' N) (Riosmena-Rodríguez & Sánchez-Lizaso 1996, Ramírez-García et al. 2002), y coexisten en la península de Baja California, no obstante, P. scouleri se presenta en sitios relativamente más someros que P. torreyi, mientras que P. torreyi es más abundante que P. scouleri en la zona submareal. Esta separación está asociada con la menor adaptación o resistencia a la desecación por la exposición al aire de P. torreyi durante la marea baja. P. torreyi también puede estar más limitado por la disponibilidad de nutrimientos que P. scouleri (Ramírez-García et al. 1998, Ramírez-García et al. 2002).

#### Impacto antropogénico

Las principales perturbaciones antropogénicas de la región son los efluentes de aguas residuales urbanas e industriales o agrícolas que eventualmente provocan eutrofización, los daños por anclaje y pesca de arrastre, y el efecto de sombra de muelles y resuspensión de sedimentos, el cual puede reducir significativamente la luz disponible. La acuicultura costera, puede causar incremento anormal en la sedimentación o en la cantidad de nutrimentos (Short et al. 2001). Las fanerógamas marinas mantienen una estrecha relación con la calidad del agua y son capaces de regular la concentración de nutrimentos disueltos en el agua, con lo cual pueden prevenir eventos de eutrofización. Sin embargo, con relativa facilidad sus poblaciones pueden ser reducidas considerablemente por excesiva turbidez o descargas desmedidas de desechos orgánicos. Incluso, pueden ser muy vulnerables a alteraciones físicas del sedimento (Short et al. 2001).

El impacto humano más frecuente y de mayor daño es la eutrofización derivada de las descargas de aguas residuales. En Bahía Magdalena estos procesos se presentan alrededor de sitios donde existen plantas industriales pesqueras, fundamentalmente en puerto López Mateos (Fig. 2) y puerto San Carlos (Rosales-Villa 2004). En López Mateos se nota un crecimiento inusual de algas epifitas principalmente *Enteromorpha* sp. sobre las hojas de Zostera marina (Santamaría-Gallegos 2007). Lo cual coincide con una elevada turbidez del agua e indica la existencia de un proceso de eutrofización a nivel local (Rosales-Villa 2004, Saad-Navarro & Palacios Castro 2004).

En el caso de Puerto San Carlos, la presencia de una planta termoeléctrica produce también un aumento en la temperatura del agua, aunque la magnitud de este efecto no se ha evaluado (Saad-Navarro & Palacios-Castro 2004). Incluso se ha observado que la alta concentración de nutrimientos puede provocar que las plantas de *Zostera* marina sean vulnerables y pierdan vigor de crecimiento (van Katwijk et al. 1999). No obstante, las condiciones eutróficas favorecen la proliferación de las algas epifitas, a un costo de reducir la disponibilidad de luz para las fanerógamas. En la zona de puerto San Carlos la intensa carga de desechos orgánicos posiblemente impide que *Zostera marina* se pueda establecer (Saad-Navarro & Palacios-Castro 2004).

La morfología de Zostera marina y el contenido de nutrimentos en el tejido foliar pueden ser empleados para prevenir la eutrofización de un estero. Un indicador llamado "masa foliar" (mg peso seco por cm<sup>-2</sup> de área foliar) muestra una fuerte y constante correlación negativa con el contenido de N del tejido foliar, de manera que resulta ser un indicador muy sensible de eutrofización incipiente (Short & Burdick 2003), mismo que pudiera ser aplicado en áreas donde se sospecha de la ocurrencia de eutrofización, como Puerto López Mateos y San Carlos con afluencia de las aguas residuales.

Otras amenazas por actividades humanas más locales son el anclaje de embarcaciones y el arrastre de redes de pesca demersal, los cuales destruyen las praderas desde la raíz, ya que desprenden también el rizoma del fondo y dificultan su regeneración.

Los efectos indirectos del desarrollo costero y la acuicultura requieren de estricta regulación para prevenir posibles daños sobre las comunidades de fanerógamas marinas. Entre otras medidas para la conservación de las comunidades de fanerógamas marinas son la evaluación del impacto ambiental de las descargas municipales, agrícolas e industrias locales; la construcción de bancos de información geo-referenciados y la implementación de monitoreos de la variabilidad espacio-temporal de la abundancia de los recursos asociados (Saad-Navarro & Palacios-Castro 2004). Las actividades humanas mencionadas se incrementan con el crecimiento de la población humana y pueden causar disminución o incluso la destrucción total de las comunidades de fanerógamas marinas en la región. En varias partes del mundo se ha observado que cuando se ha producido una reducción en su abundancia, lamentablemente esto provoca una disminución de los recursos que se desarrollan en este hábitat (Rasmussen 1973, Phillips & Meñez 1988, van Katwijk et al. 2000). Las necesidades de conservación no se deben enfocar sólo a la protección de especies en particular, debe poner más énfasis al hábitat que sustenta las diferentes especies.

En la actualidad varios países llevan a cabo esfuerzos para recuperar las praderas de fanerógamas marinas, no obstante se requiere una alta inversión económica, además del conocimiento preciso de los ciclos de vida y requerimientos ambientales de las especies involucradas (van Katwijk et al. 2000). Las fanerógamas marinas del sistema Magdalena-Almejas son más abundantes en sitios poco accesibles y han sido objeto de pocos estudios. Es mucho lo que se desconoce para poder hacer manejo adecuado de estos recursos, y el primer paso debe ser impulsar la investigación para aplicar diferentes medidas de prevención.

*Agradecimientos.* Se agradece el apoyo del Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas del Instituto Politécnico Nacional para la realización del proyecto SIP: 20050066. NASG y EFFP han recibido beca CONACyT para estudios de doctorado. EFPP también recibió beca EDI y COFAA del IPN.

#### LITERATURA CITADA

- Aguirre-Baena F, Cervantes-Duarte R, Barrera-González F (2002) Variación espacio-temporal de materia particulada suspendida en el complejo lagunar Bahía Magdalena-Almejas, B.C.S., México. XIII Congreso Nacional de Oceanografía. Puerto Vallarta, México
- Álvarez-Borrego S, Galindo-Bect LA, Chee-Barragán A (1975) Características hidroquímicas de Bahía Magdalena, B.C.S. Cienc Mar 2(2):94-110
- Cabello-Pasini A, Muñiz-Salazar R, Ward DH (2003) Annual variations of biomass and photosynthesis in *Zostera marina* at its southern end of distribution in the North Pacific. Aquat Bot 76:31-47
- Caraveo-Patiño J, Soto LA (2005) Stable carbon isotope ratios for the gray whale (*Eschrichtius robustus*) in the breeding grounds of Baja California Sur, Mexico. Hidrobiologia 539:99-107
- Contreras-Espinosa F (1993) Ecosistemas costeros mexicanos. CONABIO-UAMI, México
- Dennison WC, Orth RJ, Moore KA, Stevenson JC, Carter V, Kollar S, Bergstrom PW, Batiuk RA (1993) Assessing water quality with submersed aquatic vegetation. Bioscience 43:86-94
- Duarte CM (1989) Temporal biomass variability and production/ biomasa relationships of seagrass communities. Mar Ecol Prog Ser 51:269-276
- Félix-Pico EF (1993) Estudio biológico de la almeja catarina, Argopecten circularis (Sowerby 1835) en Bahía Magdalena, B. C. S., México. Tesis de Maestría. Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas, La Paz, BCS. México
- Félix-Pico EF, García-Domínguez FA (1993) Macrobentos sublitoral de Bahía Magdalena, B.C.S. En: Salazar-Vallejo SI, González NE (eds) Biodiversidad marina y costera de México. CONABIO y CIQRO, México, p 389-410
- Ganter B (2000) Seagrass (Zostera spp.) as food for brent geese (Branta bernicla): an overview. Hegol Mar Res 54:63-70
- Green EP, Short FT (2003) World atlas of seagrasses. Prepared by the UNEP World Conservation Monitoring Centre. University of California Press, Berkeley, USA
- Guidetti P, Bussoti S (2000) Temporal dynamics of *Zostera marina* L. off the Lagoon of Grado (Northern Adriatic Sea, Italy). Bot Mar 43(6):541–546
- Howell SNG, Erickson RA, Hamilton RA, Patten MA (2001) An annotated checklist of the birds of Baja California and Baja California Sur. Monog Field Ornit 3:171-203
- Ibarra-Obando SE, Ríos R (1993) Ecosistemas de fanerógamas

marinas. En: Salazar-Vallejo SI, González NE (eds) Biodiversidad marina y costera de México. CONABIO y CIQRO, México, p 54-65

- Kantrud HA (1991) Wigeongrass (*Ruppia maritima* L.): A literature review. U.S. Fish and Wildlife Service, Fish and Wildlife Research 10. Jamestown, ND: Northern Prairie Wildlife Research Center Online. http://www.npwrc.usgs.gov/resource/plants/ruppia/ruppia.htm
- Kenworthy WJ, Fonseca MS (1992) The use of fertilizer to enhance growth of transplanted seagrasses *Zostera marina* L. and *Halodule wrightii* Aschers. J Exp Mar Biol Ecol 163:141-161
- Kenworthy WJ, Fonseca MS (1996) Light requirements of seagrasses *Halodule wrightii* and *Syringodium filiforme* derived from the relationship between diffuse light attenuation and maximum depth distribution. Estuaries 19:740-750
- Kenworthy WJ, Thayer GW (1984) Production and decomposition of the roots and rhizomes of seagrasses *Zostera marina* and *Thalassia testudinum*, in temperate and subtropical marine ecosystems. Bull Mar Sci 35:364-379
- Kuo J, den Hartog C (2000) Seagrasses: A profile of an ecological group. Proceedings of the Fourth International Seagrass Biology Workshop. Biol Mar Medit 7:3-17
- Kuo J, den Hartog C (2001) Seagrass taxonomy and identification key. En: Short FT y Coles RG (eds). Global Seagrass Research Methods. Elsevier Science B.V., p 31-58
- Lankford RR (1977) Coastal lagoons of Mexico their origin and classification. En: Wiley M (ed). Estuarine Processes. Academic Press Inc., p 182-215
- Les DH, Cleland MA, Waycott M (1997) Phylogenetic studies in Alismatidae, II: Evolution of marine angiosperms (Seagrasses) and hydrophily. Syst Biol 22: 434-463
- López-Mendilaharsu M, Gardner SC, Seminoff JA, Riosmena-Rodríguez R (2005) Identifying critical foraging habitats of the green turtle (*Chelonia mydas*) along the Pacific coast of the Baja California peninsula, Mexico. Aquatic Conserv. Mar Freshwat Ecosyst 15:259–269
- Lüning K (1990) Seaweeds, their environment, biogeography and ecophysiology. John Wiley & Sons, USA
- Lluch-Belda D, Hernández-Rivas ME, Saldierna-Martínez R, Guerrero-Caballero R (2000) Variabilidad de la temperatura superficial del mar en Bahía Magdalena, B.C.S. Oceánides 15:1-23
- Marsh JA, Dennison WC, Alberte RS (1986) Effects of temperature on photosynthesis and respiration in eelgrass (*Zostera marina* L.). J Exp Mar Biol Ecol 101:257-267
- Maeda-Martínez AN, Sicard MT, Carvalho L, Lluch-Cota SE, Lluch-Cota DB (2001) Las poblaciones de almeja catarina Argopecten ventricosus en el Centro de Actividad Biológica de Bahía Magdalena. Cap 15. En: Lluch-Belda D, Elorduy-Garay J, Lluch-Cota SE, Ponce-Díaz G (eds) Centros de Actividad Biológica del Pacífico Mexicano. CIBNOR Ediciones, México, p 220-228
- Meling-López AE, Ibarra-Obando SE (1999) Annual life cycles of two Zostera marina L. populations in the Gulf of California: contrasts in seasonality and reproductive effort. Aquat Bot 65:59-69
- Muñiz-Salazar R, Talbot SL, Sage GK, Ward DH, Cabello-Pasini A (2005) Population genetic structure of annual and perennial populations of *Zostera marina* L. along the Pacific coast of Baja California and the Gulf of California. Molec Ecol 14:711–722
- Orth RJ, van Montfrans J (1987) Utilization of a seagrass meadow and tidal marsh creek by blue crab *Callinectes sapidus* Rathbun. I. Seasonal and annual variations in abundance with an emphasis on juvenile stages. Mar Ecol Prog Ser 4:283-294
- Phillips RC, Meñez EG (1988) Seagrasses. Smithson Contrib

Mar Sc 34. Smithson Inst. Press. Washington

- Pinnerup SP (1980) Leaf production of *Zostera marina* L. at different salinities. Ophelia Suppl 1:219-224
- Phleger FB (1969) Some general features of coastal lagoons: Coastal lagoons a symposium, Mem Internat Symp Coastal Lagoons, UNAM-UNESCO, Noviembre 28-30, 1967, México, DF, p 5-26
- Poumian-Tapia M, Ibarra-Obando SE (1999) Demography and biomass of the seagrass *Zostera marina* in a Mexican coastal lagoon. Estuaries 22:837-847
- Ramírez-García P, Lot A, Duarte CM, Terrados J, Agawin NSR (1998) Bathymetric distribution, biomass and growth dynamics of intertidal *Phyllospadix scouleri* and *Phyllospadix torreyi* in Baja California (Mexico). Mar Ecol Prog Ser 173:13–23
- Ramírez-García P, Terrados J, Ramos F, Lot A, Ocaña D, Duarte CM (2002) Distribution and nutrient limitation of surfgrass, *Phyllospadix scouleri* and *Phyllospadix torreyi*, along the Pacific coast of Baja California (Mexico). Aquat Bot 74:121-131
- Rasmussen E (1973) Systematics and ecology of the Isefjord marine fauna (Denmark) with a survey of the eelgrass (Zostera) vegetation and its communities. Ophelia 11:1-507
- Riosmena-Rodríguez R, Sánchez-Lizaso JL (1996) El límite sur de distribución de Zostera marina L. y Phyllospadix torreyi Watson para el noroeste mexicano. Oceánides 11:45-48
- Rivera-Arriaga E, Lara-Domínguez AL, Villalobos-Zapata G, Yáñez-Arancibia A (2003) Trophodynamic ecology of two critical habitats (seagrasses and mangroves) in Términos Lagoon, southern Gulf of Mexico. Fisher Cent Res Rep Part II: Ecosystem models 11:245-254
- Rosales-Villa, AR (2004) Dinámica de nutrimentos en Bahía Magdalena, B.C.S., México. Tesis de Maestría. Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas. La Paz, Baja California Sur, México
- Saad-Navarro G, Palacios-Castro E (eds) (2004) Planificación para la conservación de sitios: Complejo lagunar de Bahía Magdalena-Almejas, B.C.S., México. Pronatura A.C. (Noroeste). La Paz, Baja California Sur, México
- Santamaría-Gallegos NA (2007) Estudio de las fanerógamas marinas en Baja California Sur: Ciclo de vida y estrategias reproductivas de Zostera marina, Halodule wrightii y Halophila decipiens. Tesis de Doctorado. Universidad de Alicante. España
- Santamaría-Gallegos NA, Félix-Pico EF, Sánchez-Lizaso JL, Palomares-García R, Mazón-Suástegui M (1999) Time coincidence of the annual eelgrass Zostera marina and juvenile scallops Argopecten ventricosus (Sowerby II, 1842), in Bahía Concepción, México. J Shell Res 18:415-418
- Santamaría-Gallegos NA, Sánchez-Lizaso JL, Félix-Pico EF (2000) Phenology and growth cycle of annual subtidal eelgrass in a subtropical locality. Aquat Bot 66:329-339
- Santamaría-Gallegos NA, Sánchez-Lizaso JL, Riosmena-Rodríguez R (2003) Life strategies of subtropical eelgrass Zostera marina L. populations in southern Baja California: its southern limit distribution along East Pacific. The Fifth International Seagrass Biology Workshop, 7-11 October 2002, Ensenada, Baja California, Mexico. Gulf Mexico Sci 21:130-131
- Setchell W (1929) Morfological and phenological notes of *Zostera* marina L. University of California Publications in Botany, 14:389-452
- Short FT (1987) Effects of sediment nutrients on seagrasses: literature review and mesocosm experiment. Aquat Bot 27:41-57
- Short FT, Coles RG, Pergent-Martini C (2001) Global seagrass distribution. En: Short and Coles (eds). Global Seagrass Research Methods. Elsevier Science B.V., p 5-30
- Short FT, Burdick DM (2003) Eelgrass as an indicator of nutri-

ent over-enrichment in estuaries. A final report submitted to the NOAA/UNH Cooperative Institute for Coastal and Estuarine Environmental Technology (CICEET). New Hampshire, EEUU

- Thresher RE, Nichols PD, Gunn JS, Bruce BD, Furlani DM (1992) Seagrass detritus as the basis of a coastal planktonic food chain. Limnol Oceanogr 37:1754-1758
- Valentine JF, Heck KL Jr (1999) Seagrass herbivory: evidence for the continued grazing of marine grasses. Mar Ecol Prog Ser 176:291–302
- van Katwijk MM, Schmitz GHW, Gasseling AP, van Avesaath PH (1999) Effects of salinity and nutrient load and their interaction on Zostera marina. Mar Ecol Prog Ser 190:155-165
- van Katwijk MM, Hermus DCR, de Jong DJ, Asmus RM, de Jonge VN (2000). Habitat suitability of the Wadden Sea for

restoration of Zostera marina beds. Hegol Mar Res 54:117-28

- Vergeer LHT, Aarts TL, de Groot JD (1995) The 'wasting disease' and the effect of abiotic factors (light intensity, temperature, salinity) and infection with *Labyrinthula zosterae* on the phenolic content of *Zostera marina* shoots. Aquat Bot 52:35-44
- Zharova N, Sfriso A, Voinov A, Pavoni B (2001) A simulation model for the annual fluctuation of *Zostera marina* biomass in the Venice lagoon Aquat Bot 70:135-150
- Zieman JC (1982) The ecology of the seagrasses of south Florida: a community profile. U.S. Fish Wildl. Serv., FWS/OBS-82/ 25
- Zimmerman RC, Smith RD, Alberte RS (1989) Thermal acclimation and whole-plant carbon balance in *Zostera marina* L. (eelgrass). J Exp Mar Biol Ecol 130:93-109

Santamaría–Gallegos NA, Félix–Pico EF, Sánchez–Lizaso JL, Riosmena–Rodríguez R (2007) Ecología de la fanerógama Zostera marina en el sistema lagunar Bahía Magdalena-Bahía Almejas. En: Funes-Rodríguez R, Gómez-Gutiérrez J, Palomares-García R (eds) Estudios ecológicos en Bahía Magdalena. CICIMAR-IPN, La Paz, Baja California Sur, México, p 101-112
## Flora marina del sistema lagunar de Bahía Magdalena-Bahía Almejas

## Gustavo Hernández–Carmona<sup>1,\*</sup>, Elisa Serviere–Zaragoza<sup>2</sup>, Rafael Riosmena– Rodríguez<sup>3</sup>, Ignacio Sánchez–Rodríguez<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Departamento de Tecnologías. Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas, Instituto Politécnico Nacional, Av. IPN s/n. Col Playa Palo de Sta. Rita, AP. 592, La Paz, 23096, Baja California Sur <sup>2</sup> Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S.C., Mar Bermejo 195, Col. Playa Palo de Santa Rita. AP. 128, La Paz, 23090, Baja California Sur <sup>3</sup> Departamento de Biología Marina. Universidad Autónoma de Baja California Sur, Carretera al Sur Km 5.5. AP. 19-B, La Paz, 23080, Baja California Sur

RESUMEN: Los primeros registros sobre vegetación marina en el sistema lagunar Bahía Magdalena-Almejas fueron publicados por Collins a principios del siglo XX. Desde entonces, esta compilación nos muestra que se han registrado a 279 especies de macroalgas y 3 fanerógamas, citadas en 53 distintos artículos. En este capítulo se presenta la lista de especies obtenidas de la bibliografía para el sistema lagunar, indicando su distribución local, e incluyendo las especies recolectadas por personal del herbario ficológico de la Universidad Autónoma de Baja California Sur. De las 279 macroalgas, 13.6% pertenecen a la División Chlorophyta, 14.7% a Phaeophyta y 71.7% a Rhodophyta. El menor número de registros se encontró en el cuerpo lagunar de Bahía Almejas (cinco especies) y el mayor en Isla Magdalena con 210 especies de macroalgas y 2 fanerógamas, en parte debido a diferencias del sustrato y el esfuerzo de investigación. Se confirma que Bahía Magdalena tiene una alta riqueza de especies tal como había sido propuesto por investigadores de la década de los 60's. De las especies presentes en Bahía Magdalena, Gelidium robustum, Chondrachantus canaliculatus y Gracilaria pacifica se han explotado comercialmente en las costas de Baja California para la producción de agar o carragenanos. Los géneros Eisenia y Sargassum son los más estudiados desde el punto de vista químico y ecológico. Estos géneros representan un recurso susceptible de ser aprovechado, como fuente de alginatos, manitol, fucoidina, antibióticos, fertilizante, complemento alimenticio para aves, ganado, camarón en cultivo e incluso para alimentación humana. Se presenta el uso potencial de otras especies de valor comercial, susceptibles de ser explotadas a partir de poblaciones naturales o del desarrollo de maricultivos.

PALABRAS CLAVE: Bahía Magdalena · Cholophyta, Paeophyta · Rhodophyta · Pastos marinos · Macroalgas

ABSTRACT: The first records of marine algae from the Bahía Magdalena-Almejas system were published by Collins during the first decade of the 20th century. Since then, a total of 279 species of macroalgae and 3 segrasses have been cited in 53 publications. This chapter shows the list of species reported in the literature, we described its local distribution, including specimens collected by scientists of the ficological herbarium of the Universidad Autónoma de Baja California Sur. From the total macroalgae reported, 13.6% were Chlorophyta, 14.7% Phaeophyta, and 71.7% Rhodophyta. The lowest number of species were recorded in Bahía Almejas (five spp.), and the highest number was for Isla Magdalena with 210 macroalgae and 2 seagrasses, probably due to substrate differences and sampling effort. We confirmed that Bahía Magdalena has a high richness of species as reported during the 60's by other researchers. From the species found in Bahía Magdalena, Gelidium robustum, Chondrachantus canaliculatus, and Gracilaria pacifica have been commercially harvested in the Baja California coast to obtain agar or carrageenan products. The genus Eisenia and Sargassum are the more studied from the ecological and chemical point of view. These genera are a potential raw material as source of alginates, manitol, fucoidin, antibiotics, fertilizer, and as supplementary food for birds, cattle, cultured shrimp, and even man. We show the potential use of other species with commercial value that could be harvested from natural populations or from culture.

KEY WORDS: Bahía Magdalena · Chlorophyta, Phaeophyta · Rhodophyta · Seagrasses and macroalgae

#### **INTRODUCCIÓN**

Bahía Magdalena se clasifica dentro de una zona de transición subtropical (Norton et al. 1985) y es considerada como un ecotono donde la inmigración y emigración de individuos y flujos de nutrientes (alóctonos y autóctonos) suceden a gran escala (McGowan 1974). La costa de las islas Magdalena y Margarita está formada principalmente por playas rocosas (metamórfica) y arenosa-pedregosa, con cantos rodados (Sánchez-Rodríguez et al. 1989) (Fig. 1). En cambio, en su parte expuesta a la zona nerítica y cerca de las puntas de ambas islas, es principalmente de tipo rocoso que favorece el crecimiento de las macroalgas.

En el complejo lagunar, la vegetación marina proporciona un papel importante como hábitat y alimento de diversas especies de fauna. Por ejemplo, el abulón consume diferentes algas (eg., Myriogramme crispata, Eisenia arborea, Padina, Polysiphonia, Rhodymenia y el pasto Phyllospadix torreyi (Serviere-Zaragoza et al. 1998). La tortuga prieta (Chelonia mydas agassizii) consume Caulerpa sertulariodes, Chondria nidifica, Codium amplivesiculatum, Gelidium robustum, Gracilaria pacifica, G. textororii, Laurencia pacifica, Sargassum sinicola, Ulva lactuca y los pastos marinos Phyllospadix torreyi y Zoostera marina (López-Mendilaharsu et al. 2005).

Los primeros estudios realizados por Collins de la flora marina de Bahía Magdalena y áreas aledañas datan de 1909. Desde entonces a la fecha, el listado taxonómico más competo fue publicado por Sánchez-Rodríguez et al. (1989), quienes informan de la presencia de 132 especies de macroalgas. Estos autores registraron a 88 especies pertenecientes a la división Rhodophyta, de las cuales, 50 pertenecen a Corallinaceae, Rhodomelaceae y Ceramiaceae; la división Phaeophyta con 22 especies, incluye a 11 especies de la familia Dictyotaceae; y la división Chlorophyta con 22 especies, incluye a 7 y 6 especies de Ulvaceae y Caulerpaceae respectivamente.

A diferencia del conocimiento relativamente amplio que se ha generado sobre la fauna de Bahía Magdalena, la información sobre la flora marina es dispersa y usualmente se encuentra incluida en trabajos que cubren extensas áreas geográficas. El objetivo del presente estudio fue integrar el listado más completo de las macroalgas que habitan en el complejo lagunar, incluyendo información de su autoecología y características químicas de especies que pueden tener un uso comercial, haciendo especial énfasis en *Sargassum sinicola* e *Eisenia arborea* por ser las más estudiadas en la zona de estudio.



Fig. 1. Sitios de muestreo donde se efectuó el registro de especies de macroalgas: (1) Estero Banderitas, (2) cuerpo lagunar de Bahía Magdalena, (3) cuerpo lagunar de Bahía Almejas, (4) costas de la Isla Magdalena, (5) costas de la Isla Margarita

#### **MATERIALES Y MÉTODOS**

La elaboración del presente listado florístico es el resultado de la consulta bibliográfica de 53 obras que incluyen los registros de macroalgas recolectadas en las costas del complejo lagunar Bahía Magdalena-Almejas y adicionalmente se informa de especimenes y nuevos registros del herbario ficológico de la Universidad Autónoma de Baja California Sur. Las colectas fueron desarrolladas como parte del muestreo no sistemático que desarrolla la colección desde 1989 a la fecha. El complejo se dividió en cinco áreas para tener una aproximación de los lugares donde se registra una mayor rigueza de especies: Estero Banderitas (EB), cuerpo lagunar de Bahía Magdalena (BM), cuerpo lagunar de Bahía Almejas (BA), costas de la Isla Magdalena (IMG) y costas de la Isla Margarita (IMR) (Fig. 1). Las especies sin datos de ubicación precisa, se reportan como registros sin localidad especificada (SL) (Tabla 1). La actualización nomenclatural se obtuvo consultando a Pedroche et al. (2005) para algas verdes y para las tres divisiones a partir de Riosmena-Rodríguez (1999, 2005, 2006) y la base de datos algaebase (Guiry & Guiry 2006) (http://www.algaebase .org/). En la tabla 1 se presenta el nombre válido de cada especie y además se incluyen las sinonímias.

#### RESULTADOS

De acuerdo con los registros históricos y especimenes de herbario del complejo lagunar se han identificado a 279 especies de macroalgas y 3 fanerógamas (pastos marinos) (Tabla 1). Es notable que 79 de los nombres específicos publicados a la fecha sean considerados actualmente como sinónimos (11 clorofitas, 4 feofitas y 64 rodofitas). La mayor riqueza específica encontrada fue para las algas rojas (200 especies, 71.7%), seguida de las algas pardas (41 especies, 14.7%) y algas verdes con (38 especies, 13.6%).

La distribución de las especies tomando como criterio los distintos puntos de muestreo en que se dividió el área de estudio fue la siguiente: Estero Banderitas (7 especies), cuerpo lagunar de Bahía Magdalena (43), cuerpo lagunar de Bahía Almejas (5), isla Magdalena (210), isla Margarita (126) y especies sin localidad definida (68 especies).

La riqueza de especies en la zona de esteros y cuerpos lagunares fue menor que en las costas de las Islas Magdalena y Margarita, donde la presencia de sustratos rocosos favorecen la distribución de las macroalgas. Sin embargo, al comparar la flora entre las dos islas, se observa que un mayor número de especies han sido registradas en Isla Magdalena (210 especies) con respecto de Isla Margarita (126 especies), lo cual puede estar asociado a una mayor extensión de superficie rocosa, pero también debido a un mayor esfuerzo de colecta y/o mayor diversidad de hábitats en Isla Magdalena.

En general, los estudios sobre dinámica poblacional o estructura de la comunidad de la flora de Bahía Magdalena son escasos. La especie más estudiada ha sido Sargassum sinicola (Sánchez-Rodríguez & HernándezCarmona 1998, Sánchez-Rodríguez & Cervantes-Duarte 1999, Yabur-Pacheco 2005) y *Eisenia arborea* (Hernández-Carmona 1985).

#### DISCUSIÓN

Los cambios estacionales en el número de especies de la flora de Bahía Magdalena son relativamente pequeños, con una diferencia entre seis y 11 especies en las diferentes temporadas del año y un máximo en invierno y mínimo en verano (Sánchez-Rodríguez et al. 1989). Estos cambios pueden deberse a variaciones de temperatura del mar que es menor en invierno (19.6-21.3° C), asociado a un incremento de nutrientes, principalmente nitratos, mientras que las temperaturas más altas se presentan en verano (26.8-29° C), lo que contribuye a la senescencia de algunas especies (Sánchez-Rodríguez & Cervantes-Duarte 1999).

Sargassum sinicola presenta una máxima tasa de crecimiento en Isla Magdalena de abril a junio (27 mm día-1), en coincidencia con valores de temperatura relativamente menores (<18.5° C) y alcanza su talla máxima en junio (0.28 mm día-1). En contraste, en Isla Margarita, su talla máxima es en diciembre (0.30 m), con la mayor tasa de crecimiento de agosto a septiembre (23 mm día-1). Esta diferencia temporal ha sido relacionada con el hecho de que las poblaciones se establecen en diferentes tiempos en cada isla, a pesar de que la ubicación entre islas es relativamente cercana (5.6 km de ancho), además de que la población parece estar afectada por la depredación de opistobranquios, erizos y briozoarios en Isla Magdalena, mientras que en Isla Margarita tienen altas tasas de crecimiento hasta diciembre, en ausencia de estos organismos depredadores (Sánchez-Rodríguez & Hernández-Carmona 1998). La biomasa máxima se encuentra en junio (6.5 Kg m<sup>-2</sup>), coincidiendo con la mayor frecuencia de surgencias costeras (Sánchez-Rodríguez & Cervantes-Duarte 1999).

El género Sargassum es una fuente de alginatos (polisacárido de amplia demanda por sus propiedades gelificantes y emulsificantes). La concentración de alginatos varía estacionalmente en esta especie de 17.2 % en invierno a 35.9 % en verano (Hernández-Carmona 1985). Se ha encontrado que los alginatos de *S. sinicola* producen una baja viscosidad (100 mPas, en solución al 2%), pero están formados de un mayor porcentaje de bloques de ácido gulurónico que de manurónico, lo que les permite formar geles con una fuerza similar a los obtenidos con alginato de *Macrocystis pyrifera*. Esta característica los coloca como una importante materia prima en la industria de la inmovilización celular o tratamiento de aguas de desecho (Yabur-Pacheco 2005).

*Eisenia arborea* es una alga café que crece principalmente en las puntas de las islas Margarita y Magdalena alcanzando densidades de hasta 19 plantas m<sup>2</sup> (G. Hernández-Carmona com. pers.). El alginato de esta especie puede llegar a producir viscosidades en solución al 1 % de 800-1200 mPas (Arvizu-Higuera com. pers.), mientras que la concentración de alginato (base peso seco) varía de 24.6 % en primavera a 28.6 % en otoño. Por lo que se considera como una fuente potencial en la producción de alginatos (Hernández-Carmona 1985). Sin embargo, se requieren estudios poblacionales y de cosecha para evitar su abatimiento por sobre explotación, ya que es una especie de lento crecimiento (2 mm mes<sup>-1</sup>) (Parada-Sánchez 2005).

A continuación se describen los géneros con especies de interés comercial que tienen algún uso en otras regiones geográficas, con el objeto de identificar aquellas que podrían ser estudiadas desde el punto de vista biológico y químico, así como de su papel en el ecosistema y su potencial aplicación.

En la división Chlorophyta destaca el género *Codium* (siete especies) que se consume en Japón y Corea en sopas y ensaladas. Este género tiene la característica especial de tener altas concentraciones de vitamina A y hierro (Chapman & Chapman 1980).

En la división Phaeophyta, donde además de Sargassum y Eisenia, resalta el género Padina (cuatro especies), que se consume en Indonesia como dulce gelatinoso. Estudios realizados en la India han demostrado que este género puede tener actividad antibacterial contra Bacillus megatherium y Staphylococcus aureus, pero no ha sido efectivo contra bacterias gram negativo (Chapman & Chapman 1980).

En la división Rhodophyta, el género Ahnfeltiopsis (15 especies) es reconocido por ser una fuente potencial de agar en Japón (Volesky et al. 1970, Chapman & Chapman 1980). Asparagopsis spp. se produce para consumo humano en Hawai e Indonesia y se le conoce localmente como "Supreme limu"; Centroceras clavulatum, se consume en Hawaii como remedio para problemas estomacales (Chapman & Chapman 1980). Ceramium (11 especies), en especial la especie C. pacificum y el género Chondracanthus spp. (3 especies) han sido identificadas como fuente de ficocoloides (Pacheco-Ruíz & Zertuche-González 1996).

Las especies del género *Gelidiopsis* se emplean para consumo humano en Indonesia con el nombre común de "Sargan" y para la producción de agar en Filipinas. *Gelidium* (6 especies) se ha empleado por muchos años como fuente de agar en Japón, Corea, China y México. Algunas especies de *Gracilaria* (11 especies) se emplean en Vietnam, SE de Asia, Japón y Filipinas para el consumo humano, ya sea cruda, en ensaladas o cocinada. Se le conoce comúnmente como "Ogo" y tiene la característica de contener altas cantidades de Manganeso, además de ser considerado como una fuente potencial de agar.

Gymnogongrus es un género potencial para la producción de carragenanos (Chapman & Chapman 1980, Pacheco-Ruíz & Zertuche-González 1996). El género Hypnea (4 especies) se ha reconocido como una fuente potencial de ficocoloides (Pacheco-Ruíz & Zertuche-González 1996), específicamente para la producción de galactanos y carragenanos. De la especie H. spinella (antes H. cervicornis) se obtiene un agaroide de buena calidad, con un punto de licuefacción en concentración al 2% de 44 °C y un punto de gelificación de 27 °C. Especies de este género también se han empleado como remedio para problemas estomacales y en Indonesia se consume con el nombre de "Boeloeng" (Chapman & Chapman 1980). Algunas especies de *Jania* (2 especies), se han empleado eficientemente como vermífugo en el mediterráneo.

Las especies de *Laurencia* (9 especies) se conocen comúnmente con el nombre de "Limu lipe" en Hawai y se consumen regularmente por los habitantes de las islas. En Indonesia también se consume este género, que se conoce localmente como "Sangan"; así como en el Oeste de Europa y Escocia. En Estados Unidos de Norteamérica, las macroalgas de este género se consumen sazonadas, con el nombre común de "Pepper dulse" (Chapman & Chapman 1980). El género *Porphyra* se emplea ampliamente para consumo humano (Sushi), principalmente por su alto contenido de proteínas. En la bahía se han encontrado 3 especies de *Porphyra*, lo que indica que es un ambiente favorable y que se puede explorar la posibilidad de cultivar otras especies de este género que tiene un valor comercial muy elevado.

Las especies del género *Rhodymenia* (4 especies) se han empleado para consumo humano por su alto contenido en vitamina B1. En Escocia se usa para preparación de "dulce" y los nativos de Kamchatka (Rusia) producen un tipo de bebida alcohólica, aunque al parecer su sabor no es muy agradable (Chapman & Chapman 1980). El género *Sarcodiotheca* (3 especies) ha sido propuesto como una fuente potencial de ficocoloides (Pacheco-Ruíz & Zertuche-González 1996).

Se considera que Bahía Magdalena es probablemente la localidad donde se presenta el mayor número de especies de macroalgas con respecto de otros sitios de la península de Baja California (Casas-Valdez et al. 2000). La información presentada será de utilidad como línea base de su diversidad y de los cambios para identificar alteraciones como consecuencia de las modificaciones del ambiente. Es de nuestro interés mencionar que la presente actualización de la riqueza de especies es la más completa hasta el momento y junto con la información de su distribución se contribuye al conocimiento de la flora del complejo lagunar Bahía Magdalena-Almejas.

*Agradecimientos.* GHC e ISR agradecen al Instituto Politécnico Nacional por las becas de exclusividad (COFAA) y el estimulo al desempeño de los investigadores (EDI) otorgadas.

#### LITERATURA CITADA

- Abbott IA (1967) Studies in some foliose red algae of the Pacific coast. Criptonemeaceae. J Phycol 3:139-149
- Abbott IA (1968) Studies of some foliose red algae of the Pacific coast. Dumontiaceae, Weeksiaceae, Kallymeniaceae. J Phycol 4:180-198
- Abbott IA (1969) Some new species, new combinations, and new records from the Pacific coast. Madroño 20:42-53
- Abbott IA (1972) Taxonomic and nomenclatural notes in North Pacific marine algae. Phycologia 11:259-265
- Abbott IA (1983) Some species of *Gracilaria* (Rhodophyta) from California. Taxon 32:561-564

- Abbott IA (1985) New species of *Gracilaria* Greville (Gracilariaceae, Rhodophyta) from California and Hawaii. Taxonomy of Economic Seaweeds 1:115-121
- Abbott IA, Hollenberg GJ (1976) Marine algae of California. Stanford University Press, Stanford California
- Aguilar-Rosas R, Aguilar-Rosas LE (1993) Cronología de la colonización de *Sargassum muticum* (Phaeophyta) en las costas de la península de Baja California, México (1971-1990). Rev Inv Científica, Serie de Cien del Mar, UABCS 4:41-51
- Aguilar-Rosas R, Aguilar-Rosas LE, Ramos-Jardon (1990) Análisis biogeográfico del orden laminariales (Phaeophyta) en las costas de la Península de Baja California, México. Inv Mar CICIMAR 5:107-121
- Anderson VL (1991) Type specimen of algae in the Herbarium of Natural History Museum of Los Angeles County. Tech Rep Bot section 4:1-63
- Athanasiadis A, Adey WH (2006) The genus *Leptophytum* (Melobesioideae, Corallinales, Rhodophyta) on the Pacific coast of North America. Phycologia 45:71-115
- López-Mendilaharsu M, Gardner SC, Seminoff JA, Riosmena-Rodríguez R (2003) Feeding Ecology of the East Pacific green turtle (*Chelonia mydas agassizii*) in Bahía Magdalena, BCS, México. En: Seminoff JA (ed) Proceedings of the Twentysecond Annual Symposium on Sea Turtle Biology and Conservation, Miami, Florida, p 219-220
- Casas-Valdez M, Núñez-López RA, Cruz-Ayala MB, Sánchez-Rodríguez I, Vázquez.Borja R, López GE (2000) Biodiversity and biogeographic affinities of the algal flora of Baja California Sur: A sintesis of the literatura. En: Munawar M, Lawrence SG, Munawar IF, Malley DF (ed) Aquatic Ecosystems of Mexico: Status and Scope, p 273-282
- Castillo AJA (1990) Sinopsis de las algas verdes (Chlorophyta) de la Península de Baja California, México. Tesis de Licenciatura, Facultad de Ciencias Marinas, Universidad Autónoma de Baja California Sur, La Paz, BCS., México
- Collins FS (1909) The green algae of North America. Tufts College Studies, Sci Ser 2:79-480
- Chapman VJ, Chapman DJ (1980) Seaweeds and their uses. Chapman & Hall, New York
- Dawson EY (1949) Resultados preliminares de un reconocimiento de las algas marinas de la costa pacífica de México. Rev Soc Mex Hist Nat 9:215-255
- Dawson EY (1950) Notes on some Pacific Mexican Dictyotaceae. Bull Torrey Bot Club 77:83-93
- Dawson EY (1953) Resumen de las investigaciones recientes sobre algas marinas de la costa pacífica de México, con una sinopsis de la literatura, sinonimia y distribución de las especies descritas. Rev Soc Mex Hist Nat 13:97-197
- Dawson EY (1954) Marine red algae of Pacific Mexico II Cryptonemiales (cont). Allan Hancock Pac Exped 17:241-397
- Dawson EY (1960) Marine red algae of Pacific Mexico III Cryptonemiales, Corallinaceae subf. Melobesioideae. Pac Nat 2
- Dawson EY (1961a) A guide to the literature and distribution of Pacific benthic algae from Alaska to Galapagos Islands. Pac Sci 15:370-461
- Dawson EY (1961b) Marine red algae of Pacific México. Part 4: Gigartinales. Pac Naturalist 2:191-343
- Dawson EY (1962) Marine red algae of Pacific Mexico, Part 7 Ceramiales: Ceramiaceae, Delesseriaceae. Allan Hancock Pac Exped 26:1-207
- Dawson EY (1963) Marine red algae of Pacific Mexico VIII Ceramiales: Dasyaceae, Rhodomelaceae. Nova Hedwigia 6:401-481
- Dawson EY (1964) Marine red algae of Pacific Mexico, Pt. 6: Rhodymeniales

- Gardner NL (1927) New species of *Gelidium* on the Pacific coast of North America. University of California Publication of Botany 13:273-318
- Guiry MD, Guiry GM (2006) AlgaeBase version 4.2. World-wide electronic publication, Nat Univ Ireland, Galway. http:// www.algaebase.org
- Hernández-Carmona G (1985) Variación estacional del contenido de alginatos en tres especies de feofitas de Baja California Sur, México. Inv Mar CICIMAR 2:29-45
- Hollenberg GJ (1961) Marine red algae of Pacific Mexico. V The genus Polysiphonia. Pac Naturalist 2:345-375
- Hollenberg GJ (1969) An account of the Ralfsiaceae (Phaeophyta) of California. J Phycol 5:290-301
- Hollenberg GJ, Abbott IA (1966) Supplement to Smith's marine algae of the Monterey peninsula. Stanford: Stanford University Press
- Hollenberg GJ, Norris JN (1977) The red Alga *Polysiphonia* (Rhodomelaceae) in the Northern Gulf of California. Smithsonian Contributions to the Mar Sci 1:1-21
- López-Mendilaharsu M, Gardner SC, Seminoff JA, Riosmena-Rodríguez R (2003) Feeding Ecology of the East Pacific green turtle (*Chelonia mydas agassizii*) in Bahía Magdalena, BCS, México. En: Seminoff JA (ed) Proceedings of the Twentysecond Annual Symposium on Sea Turtle Biology and Conservation, Miami, Florida, p 219-220
- López-Mendilaharsu M, Gardner S.C, Riosmena-Rodríguez R, Seminoff J (2005) Identifying critical foraging habitats of the green turtle (*Chelonia mydas*) along the Pacific Coast of the Baja California peninsula, México. Aquatic conservation: Mar Freshw Ecosys 15:259-269
- Mateo-Cid LE, Mendoza-González AC (1993) Algas marinas poco conocidas de la flora mexicana. X *Derbesia marina* (Lyngbye) Solier y *D. prolifica* W Taylor (Chlorophyta- Bryopsidaceae). Anales de la Esc Nal de Cien Biol 38:9-16
- McGowan JA (1974) The nature of oceanic ecosystems, 9-8. En: Niller CB (ed) The biology of the Oceanic Pacific. Oregon State Univ Press, Corvallis
- Norris JN, Bucher KE (1977) New records of marine algae from the 1974 R/V Dolphin Cruise to the Gulf of California Smithson Contrib Bot 34:1-22
- Norris JN, Johansen HW (1981) Articulated coralline algae of the Gulf of California, México, I. *Amphiroa Lamouroux*. Smithson Contrib Mar Sci Sciences 9
- Norton JD, McLain R, Brainard, Husby D (1985) The 1982-1983 El Niño event off Baja California and Alta California and its ocean climate context. En: Wooster WS, Fluharty D (eds) El Niño North Washington Sea Grant Program, University of Washington, Seattle, p 44-72
- Pacheco-Ruiz I, Zertuche-González A (1996) The commercial valuable seaweeds of the Gulf of California. Bot Mar 30:201-206
- Parada-Sánchez GM (2005) Dinámica y variación morfológica de una población intermareal de *Eisenia arborea* (Phaeophyta: Laminariales) en Punta Eugenia, BCS, México. Tesis de Maestría, Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas, La Paz, BCS., México
- Pedroche FF, Silva PC, Chacana M (2002) El género Codium (Codiaceae, Chlorophyta) en el Pacífico de México. En: Sentíes A, Dreckmann KM (eds) Monogr ficológicas. Universidad Autónoma Metropolitana-Iztapalapa y Red Latinoamericana de Botánica, p 11-74
- Pedroche FF, Silva PC, Aguilar-Rosas LE, Dreckmann KM, Aguilar-Rosas R (2005) Catálogo de las algas marinas bentónicas del Pacífico de México. Universidad Autónoma Metropolitana-Iztapalapa, University of California, Universidad Autónoma de Baja California, La Paz, BCS, México

- Ramírez-García P, Lot A, Duarte CM, Terrados J, Agawin NSR (1998) Bathymetric distribution, biomass and growth dynamics of intertidal *Phyllospadix scouleri* and *Phyllospadix torreyi* in Baja California, México. Mar Ecol Prog Ser 173:13-23
- Ramírez-García P, Terrados J, Ramos F, Lot A, Ocaña D, Duarte CM (2002) Distribution and nutrient limitation of surfgrass, *Phyllospadix scouleri* and *P. torreyi*, along the Pacific coast of Baja California, México. Aquatic Bot 74:121-131
- Ramos-Jardón NA (1989) Sinopsis de las algas pardas (Phaeophyta) de la península de Baja California, México. Tesis de Licenciatura, Universidad Autónoma de Baja California, Ensenada BC, México
- Riosmena-Rodríguez R (1999) Vegetación subacuática. En: Ongay E (ed) Informe Final de actividades del proyecto salitrales de San Ignacio ESSA-Universidad Autónoma d Baja California Sur
- Riosmena-Rodríguez R (2005) Existen especies de macroalgas y pastos marinos que deban estar en la NOM-Ecol-095 Parte I. Algas pardas y verdes. Informe final Comisión Nal. Biodiversidad-Universidad Autónoma de Baja California Sur
- Riosmena-Rodríguez R (2006) Diagnóstico del estado de conservación de macroalgas y pastos marinos en el Golfo de California. Informe anual, fondo CONACYT-SEMARNAT 243
- Riosmena-Rodríguez R, Siqueiros-Beltrones DA, García de la Rosa O, Rocha-Ramírez V (1991) Range extension for seaweeds in the Baja California península. Rev Inv Científica, Ser Cien del Mar, Universidad Autónoma de Baja California Sur 2:12-20
- Riosmena-Rodríguez R, Siqueiros-Beltrones DA (1995) Taxonomy of the genus *Amphiroa* (Corallinales; Rhodophyta) in the southern Baja California península. Phycologia 35:133-147
- Riosmena-Rodríguez R, Sánchez-Lizaso JL (1996) El límite sur de distribución de Zostera marina L y Phyllospadix torreyi Watson para el Noroeste Mexicano. Oceánides 11:45-48
- Riosmena-Rodríguez R, Siqueiros-Beltrones DA (1996) Taxonomy of the genus Amphiroa (Corallinales; Rhodophyta) in the southern Baja California Península. Phycologia 35:133-147
- Sánchez-Rodríguez I, Fajardo-León MC, Oliveiro-Pantoja C (1989) Estudio florístico estacional de las algas en Bahía Magdalena, BCS, México. Inv Mar CICIMAR 4:35-48

- Sánchez-Rodríguez I, Hernández-Carmona G (1998) Factores biológicos que afectan el crecimiento del alga café Sargassum sinicola (Fucales, Phaeophyta) en Bahía Magdalena, BCS, México. Anales del IV Congreso Latino-Americano, II Reunión Ibero-Americano y VII Reunión Brasileña de Ficología:299-308
- Sánchez-Rodríguez I, Cervantes-Duarte R (1999) Longitud y biomasa de *Sargassum sinicola* Setchell et Gardner (Phaeophyta) en Bahía Magdalena, BCS, México. Hidrobiológica 9:117-124
- Serviere-Zaragoza E, Gómez-López D, Ponce-Díaz G (1998) The natural diet of the green abalone (*Haliotis fulgens* Philippi) in the southern part of its range, Baja California Sur, Mexico, assessed by an analysis of gut contents. J Shellfish Res 17:777-782
- Serviere-Zaragoza E, García-Hernández VC, Siqueiros-Beltrones DA (2003) Diversity and distribution of macroalgae associated with abalone (*Haliotis spp.*) habitats in Baja California Sur, Mexico. Bull Mar Sci 72:725-739
- Setchell WA, Gardner NL (1920) The marine algae of the Pacific coast of North America. II Chlorophyceae. Univ Calif Publ Bot 8:139-374
- Smith GM (1944) Marine algae of the Monterey península, California. Stanford, Calif
- Stewart JG (1991) Marine algae and seagrasses of San Diego County. Californian Sea Grant College Program. Rep T-CSGCP-020, California
- Stewart JG, Stewart JA (1984) Marine algae of Guadalupe Island, México. Including a check list. Cien Mar 10:129-134
- Taylor WR (1945) Pacific marine algae of the Allan Hancock Expeditions to the Galapagos Islands. Allan Hancock Pac Exped 12:1-528
- Volesky B, Zajic JE, Knetting E (1970) Algal products. En: Zajic JE (ed) Properties and products of algae. Proc on the culture of algae. New York
- West J, Zuccarello G (1990) Noteworthy collections Baja California, Mexico. Caloglossa leprieurii. Madroño 37
- Wynne MJ, Norris JN (1976) The genus *Colpomenia* Derbés et Solier (Phaeophyta) in the Gulf of California. Smithson Contrib Bot 35:164-171
- Yabur-Pacheco R (2005) Producción y propiedades de alginato de Sargassum sinicola (Setchell y Gardner) y su aplicación en inmovilización celular. Tesis de Doctorado. Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas, La Paz, BCS, México

Hernández–Carmona G, Serviere–Zaragoza E, Riosmena–Rodríguez R, Sánchez–Rodríguez I (2007) Flora marina del sistema lagunar de Bahía Magdalena-Bahía Almejas. En: Funes-Rodríguez R, Gómez-Gutiérrez J, Palomares-García R (eds) Estudios ecológicos en Bahía Magdalena. CICIMAR-IPN, La Paz, Baja California Sur, México, p 113-126

1	1	0
1	T	.9

Tabla 1. Distribución de especies de macroalgas en el sistema lagunar Bahía Magdalena-Bahía Almejas. EB = Estero Banderitas, BM = Cuerpo Lagunar Bahía Magdalena, BA = Cuerpo Lagunar Bahía Almejas, IMG = Isla Magdalena, IMR = Isla Margarita, SL = registro sin localidad específica

No	Especies	EB	BM	BA	IMG	IMR	SL
	Chlorophyta	10					
1	<i>Acetabularia calyculus</i> J.V. Lamouroux in Quoy & Gaimard <i>Blidingia marginata</i> (J. Agardh) P.J.L. Dangeard ex Bliding = <i>Enteromorpha microccoca</i> Kützing	40		53	53	53	47
3	Bryopsis hypnoides J.V. Lamouroux				35,45	35,45	
4	Bryopsis muscosa J.V. Lamouroux		53		12	35,45,53	
5	Bryopsis pennata var. minor J. Agardh = Bryopsis pennatula J. Agardh				35,45	35,45,46,	
6	Caulerpa fastigiata Montagne					46	
7	Caulerpa sertularioides (S.G. Gmelin) M. Howe				35,45	35,45	
8	Caulerpa vanbosseae Setchell & N.L. Gardner		19		35,45	35,45	
9	Chaetomorpha antennina (Bory de Saint-Vincent) Kützing				12,35,45	35,45,46	
10	Chaetomorpha crassa (C. Agardh) Kützing		19		12		35
11 12	Chaetomorpha linum (O.F. Müller) Kützing Chaetomorpha spiralis Okamura				FBCS		
	= Chaetomorpha torta (Farlow ex F.S. Collins) Yendo		19		12		12,35
13	Cladophora columbiana F.S. Collins				FBCS		
14	Cladophora graminia F.S. Collins				19		
15	Cladophora microcladioides F.S. Collins				35,45	35,45	
16	Cladophora pellucida (Hudson) Kützing						47
17	<i>Codium amplivesiculatum</i> Setchell & N.L. Gardner						47
	= Codium magnum E. Y. Dawson		34		45	34,35,45,	
18	Codium dichotomum (Hudson) S.F. Gray				51		
19	Codium fernandezianum Setchell				51		
20	Codium latum Suringar				12		
21	Codium setchellii N.L. Gardner				12		
22	Codium simulans Setchell & N.L. Gardner						
	= Codium cuneatum Setchell & N.L. Gardner			34	12,34,35,45	34,35,45	
23	Derbesia marina (Lyngbye) Kjellman				FBCS		
24	Derbesia prolifica W.R. Taylor				35,45	35,45	31
25	Halimeda discoidea Decaisne				12,19, 35,45	35,45	
26	Halimeda scabra M.A. Howe				35,45	35,45	
27	= Enteropmorpha acantophora Kützing				12		
28	Ulva californica Wille				19,46	46	12
29	Ulva clathrata var. crinita (Roth) C. Agardh				,		
20	= Enteromorpha clathrata var. crinita (Nees) Hauck				45	45	
30	Ulva compressa Forsskal = Enteromorpha compressa (Linnaeus) Nees				45		47
31	Ulva expansa (Setchell) Setchell & N L Gardner				10		47
32	Ulva flexuosa Wulfen						-17
	= Enteromorpha flexuosa (Wulfen) J. Agardh				35,45	35,45	
33	Ulva intestinalis Linnaeus – Enteremerpha intestinalis (Linnaeus) Noos				25 45	25 45	10 47
24	- Enteroniorphia Intestitidiis (Linnaeus) Nees				35,45	25 45	12,47
34					30,40	33,43	13,47
30	Ulva Iniza Lillideus				4 5	AE	47
30	Ulva rigida C. Agordh				40	40	47
ა/ ეი	Ulur transister (Satahall) Satahall & M.L. Cardona					A.F.	47
38	orva identidia (Seichen) Seichen & N.L. Gardner					45	

No	Especies	EB	BM	BA	IMG	IMR	SL
	Phaeophyta						
1	Colpomenia peregrina Sauvageau				45	45	
2	Colpomenia ramosa W.R. Taylor			52	38,52	38,52	
3	Colpomenia sinuosa (Mertens ex Roth) Derbès & Solier				38,45,51	45	
4	Colpomenia tuberculata Saunders		52		45	45,52	38
5	Cystoseira osmundacea (Turner) C. Agardh				51		
6	Desmarestia ligulata (Lightfoot) J.V. Lamouroux						7
7	Dictyopteris undulata Holmes				38,45,46	45,46	4
8	Dictyota bartayresiana J.V. Lamouroux				46	46	
9	Dictyota binghamiae J. Agardh				51		
10	Dictyota concrescens W.R. Taylor				38,51		
11	Dictyota crenulata J. Agardh				FBCS		
12	Dictyota dichotoma (Hudson) J.V. Lamouroux				45 51	45	
13	= Dictyota vivesii M.A. Howe Dictyota dichotoma var. intricata (C. Agardh) Greville				45,51	45	
	= Dictyota divaricata J.V. Lamouroux				45,46	45,46	
14	Dictyota flabellata (F.S. Collins) Setchell & N.L. Gardner				45,46	45,46	
15	Dictyota masonii Setchell & N.L. Gardner					19,38	
16	Ectocarpus gonodioides Setchell & N.L. Gardner						7
17	Ectocarpus parvus (D.A. Saunders) Hollenberg				45		
18	Eisenia arborea J.E. Areschoug				9,45,46,51	45,46	50
19	Endopleura aurea Hollenberg						7
20	Hapalospongidion gelatinosum Saunders						7
21	Hincksia mitchelliae (Harvey) P.C. Silva				45	15	
22	Hydroclathrus clathratus (C. Agardh) M.A. Howe				45	45	
22	Leathesia difformis (Linnaeus) LE Areschoug				40	40	- 7
20	Pachydictyon coriaceum (Holmes) Okamura				19 45 46	15 38	,
24	Padina caulescens Thivy				46	46	
26	Padina concrescens Thivy	FBCS	FBCS	FBCS	FBCS	10	
20	Padina crispata Thivy	TDCD	I DCD	TDCD	46		
27	Padina dunillaei Bory Saint-Vincent				38 / 5 / 6 51	15 16	
29	Petalonia fascia ( $\Omega \in M$ üller) Kuntze				38	10,10	
30	Pseudolithoderma niara Hollenbera				00		7.26
31	Ralfsia hesperia Setchell & N.L. Gardner						26
32	Ralfsia pacifica Hollenbera						7.26
33	Saraassum camouii E.Y. Dawson				45	45	,120
34	Saraassum horridum Setchell & Gardner				42.45	45	
35	Sargassum muticum (Yendo) Fensholt				,	8	
36	Saraassum sinicola Setchell & Gardner		38		43.44.45.46	43.44.45	
37	Sargassum templetonii Setchell		-		19,38	, ,	
38	Spatoglossum howelli E.Y. Dawson				46	46	
39	Sphacelaria californica Sauvageau				45	45	
40	Sphacelaria rigidula Kützing						
	= Sphacelaria furcigera Kützing		45				
41	Zonaria farlowii Setchell & N.L. Gardner		38		19,45,51	45	

No	Especies	EB	BM	BA	IMG	IMR	SL
	Rhodophyta						
1	Acrosorium ciliolatum (Harvey) Kylin				10	46	
2	= Acrosonum venulosum (Zanardini) Kylin Agardhiella subulata (C. Agardh) Kraft & M.I. Wynne				46	46	
-	= Agardhiella tenera (J. Agardh) F. Schmitz						7
3	Aglaothamnion endovagum (Setchell & N.L. Gardner) I.A. Abbott						7
4	Aglaothamnion hookeri (Dillwyn) Maggs & Hommersand				4.5	45	
5	Ahnfeltiopsis concinna (J. Agardh) P.C. Silva & DeCew				45	45	
	= Ahnfeltia concinna J. Agardh				20,46	46	
6	Ahnfeltiopsis gigartinoides (J. Agardh) P.C. Silva & DeCew						7
7	Amphiroa annulata M. Lemoine		16				
0	Amphiroa beauvoisii J.V. Lamouroux				41 45	45	
0 9	Amphiroa misakiensis Yendo				41,45	45	
	= Amphiroa brevianceps E.Y. Dawson						
	= Amphiroa dimorpha M. Lemoine				10 10 15 10	45	0.0
10	= Amphiroa magdalenensis E.Y. Dawson Amphiroa rigida IV Lamouroux				19,10,45,46,	45	33
10	=Amphiroa taylorii E.Y. Dawson				45	45	
11	Amphiroa valonioides Yendo						
10	= Amphiroa annulata M. Lemoine				41	FCBS	
12	Amphiroa zonata Yendo				10, 19		
	= Amphiroa beauvoisiiJ.V. Lamouroux		16		16,19,45	45,46	
14	Anotrichium furcellatum (J. Agardh) Baldock				4.5	45	
15	= Griffithsia furcellata J. Agardh Anotrichium tenue (C. Agardh) Nägeli				45	45	
10	= Griffithsia tenuis C. Agardh		21				
16	Antithamnion kylinii N.L. Gardner		21				
17	Antithamnionella elegans (Berthold) J.H. Price & D.M. John						
	= Antithamnion elegans Berthold				21		
18	Asparagopsis taxiformis (Delile) Trevisan de Saint-Léon				21		
	= Falkenbergia hillebrandii (Bornet) Falkenberg				45	45	
19	Botryocladia pseudodichotoma (Farlow) Kylin				22		
20	Branchioglossum undulatum E.Y. Dawson						7
21	Branchioglossum woodii (J. Agardh) Kylin						7
22	Callithamnion acutum Kylin						0.4
0.0	= Callithamnion callionicum Gardner				4.5	45	24
23	Callithamnion calamense E.Y. Dawson				45	45	
24	Callithampion runicels C. L. Anderson				21		
20	Callenbulia obtuatiolia L. Agordh				19,21		
20	Callophyllis mogalogarna Sotcholl & Swory				47		
27	Callophyllis phyllohaptora EV. Dawson				19		
20	Callophyllis thompsonii Setchell				17,15	45	
20	Callophyllis violaged yar, opinbytigg V, Dawson				45	45	
30	Caleglossa lopriourii (Montagno) G. Martons		50		40		
31	Caulaganthus ustulatus (Mortons ov Turnor) Kützing		52		20	20	
32	Centroceras clavulatum (C Agardh) Montagne		21		20 45	20 45	
34	Ceramium affine Setchell & N.L. Gardner		21		45	45	
35	Ceramium californicum I Agardh		15 19		40	-10	15
36	Ceramium clarionense Setchell & N.I. Gardner		10,10		21		7
37	Ceramium fimbriatum Setchell & N.I. Gardner				45	45	,
38	Ceramium flaccidum (Harvey ex Kützing) Ardissone				10	10	
	= Ceramium gracillimum var. byssoideum Mazoyer					21	
39	Ceramium pacificum (F.S. Collins) Kylin				45	45	

No	Especies	EB	BM	BA	IMG	IMR	SL
40	Ceramium personatum Setchell & N.L. Gardner		21				
41	Ceramium procumbens Setchell & N.L. Gardner						15
42	Ceramium serpens Setchell & N.L. Gardner						7
43	Ceramium sinicola Setchell & N.L. Gardner				15,19,21		
44	Ceramium taylorii E.Y. Dawson		19		15,21		
45	Champia parvula (C. Agardh) Harvey				45	45	
46	Chondracanthus canaliculatus (Harvey) Guiry						
	= Gigartina canaliculata Harvey				10.20		
47	<i>Chondracanthus spinosus</i> (Kützing) Guirv				19,20		
	= Gigartina spinosa (Kützing) Harvey						4
48	Chondracanthus tepidus (Hollenberg) Guiry						
49	= Gigartina tepida Hollenberg Chondria acrophizophora Setchell & N.L. Gardner				45	45	
40	= Chondria californica (Collins) Kylin		23		45	45	
50	Chondria dasyphylla (Woodward) C. Agardh					23	
51	Chondria nidifica Harvey				46		
52	Corallina frondescens Postels & Ruprecht				45	45	
53	Corallina officinalis var. chilensis (Decaisne) Kützing						
	= Corallina chilensisDecaisne		-		19,45,46,51	45,46	
54	Corallina pinnatifolia (Manza) Dawson				16,19		
55	Corallina polysticha E.Y. Dawson					46	
56	Corallina vancouverensis Yendo				40,45,46,51	45,46	
57	S.M. Boo						
	= Ceramium eatonianum(Farlow) De Toni				15,19		7
58	Crouania atenuatta (C. Agardh) J. Agardh				45	45	
59	Cryptonemia angustata (Setchell & N.L. Gardner) E.Y. Dawson				1,17		
60	Cryptopleura dichotoma N.L. Gardner					46	
61	Cryptopleura lobulifera (J. Agardh) Kylin				51		
62	Cryptopleura peltata (Montagne) M.J. Wynne				10.01		
63	= Cryptopleura corallinarum (Nott) N.L. Gardner Cryptopleura ramosa (Hudson) L. Newton				19,21		
00	= Acrosorium uncinatum (Turner) Kylin						
	= Nitophyllum uncinatum (Turner) J. Agardh				21,45,51	21,45	
64	Cryptopleura violacea (J. Agardh) Kylin				21		
65	Dasya pedicillata var. nudicaulis Dawson					46	
66	Dasya sinicola (Setchell & N.L. Gardner) E.Y. Dawson				23		
67	Dasya sinicola var. abyssicola (Dawson) Dawson						4
68	Dasya sinicola var. californica (Gardner) Dawson				10		
69	Envirtheorystis saccata (L Agardh) P.C. Silva				46		
70	Frythroclossum californicum (L Agardh) L Agardh				40 21		
71	Frythrotrichia carnea (Dillwyn) J. Agardh				45	45	
72	Frythrotrichia tetraseriata N L Gardner				16 19	10	
73	Fosliella paschalis (M. Lemoine) Setchell & N.L. Gardner				45	45	
74	Ganonema farinosum (J.V. Lamouroux) K.C. Fan & Y.C. Wang				10	10	
	= Liagora farinosa J.V. Lamouroux				45	45	
75	Gastroclonium parvum (Hollenberg) C.F. Chang & B.M. Xia				45	22,45,	
76	Gastroclonium subarticulatum (Turner) Kützing				40	40	
	= Gastroclonium coulteri (Harvey) Kylin				16	22	
77	Gelidiella hancockii E.Y. Dawson		19				
78	Gelidiopsis variabilis (J. Agardh) Schmitz				45,46	45,46	
79	Gelidium coulteri Harvey				16,19		49
80	Gelidium johnstonii Setchell & Gardner		16		16,19		

No	Especies	EB	BM	BA	IMG	IMR	SL
81	Gelidium nudifrons N.L. Gardner				42,46	46	
82	Gelidium purpurascens N.L. Gardner				46	46	
83	Gelidium pusillum (Stackhouse) Le Jolis				46		
84	Gelidium robustum (N.L. Gardner) Hollenberg & I.A. Abbott = Gelidium cartilagineum var. robustum N.L. Gardner				16,19,45,46	45,46	
85	Goniotrichum alsidii (Zanardini) M.A. Howe						45
86	Gracilaria espinigera E.Y. Dawson					19,20	
87	Gracilaria gracilis (Stackhouse) M. Steentott, L.M. Irvine & W.F. Farnham = Gracilaria verrucosa (Hudson) Papenfuss						48
88	Gracilaria pachydermatica Setchell & Gardner				19.20		40
00	endenand pachyachmanca betchen a Garaner	29,30,			10,20		
89	Gracilaria pacifica I.A. Abbott	FBCS					
90	Gracilaria robusta Setchell				45	45	
91	Gracilaria spinigera E.Y. Dawson						
92	Gracilaria subsecundata Setchell & Gardner						
93	Gracilaria tepocensis (E.Y. Dawson) E.Y. Dawson				45	45	
94	Gracilaria textorii var. cunninghamii (Farlow) Dawson				19,20	46	6
95	Gracilaria turgida E.Y. Dawson		19,20		45	45	6
96	Gracilaria veleroae E.Y. Dawson				45	45	
97	Gracilariophila gardneri Setchell						14
98	Gracilariopsis lemaneiformis (Bory de Saint-Vincent) E.Y. Dawson, Acleto & Foldvik = Gracilaria sjoestedtii Kylin	29, 30			45	45	5
99	= Grateloupia multiphylla E.Y. Dawson				10,17,19		
100	Grateloupia howeii Setchell & Gardner				19		
101	Grateloupia schizophylla Kützing				17,19		
102	Grateloupia versicolor (J. Agardh) J. Agardh				17		
103	Grifithsia multiramosa Setchell & Gardner		21				
104	Grifithsia pacifica Kylin				21,45	21,45	
105	Gymnogongrus martinensis Setchell & N.L. Gardner				19,20		
106	Haloplegma mexicanum W.R. Taylor					21	
107	Halymenia californica G.M. Smith & Hollenberg						1
108	Halymenia coccinea (Harvey) I.A. Abbott						1
109	Halymenia templetonii (Setchell & N.L. Gardner) I.A. Abbott						1
110	Herposiphonia secunda i, tenella (C. Agardh) M.J. Wynne = Herposiphonia tenella (C. Agardh) Ambronn		45		45	23 45	
111	Herposiphonia verticillata (Harvey) Kylin		40		45	45	
112	Heterosiphonia erecta N L. Gardner				19 23 45	45	
113	Hildenbrandia rubra (Sommerfelt) Meneghini = Hildenbrandia prototypus Nardo				16	10	
114	Hypnea johnstoni Setchell & Gardner				20,45,51	45	
115	Hypnea pannosa J. Agardh				45	45	
	Hypnea spinella (C. Agardh) Kützing						
116	= Hypnea cervicornis J. Agardh				20,45	45	
117 118	Hypned valentide (Turner) Montagne Hypneocolax stellaris subsp. orientalis (Weber-van Bosse) Womersley		10.20		20,45	45	
110	= rypineocolas sienaris 1. orientalis weber-van Bosse		19,20		45	45	
119	Jania danaerens J. V. Lamouroux				45	45	
120	Jama renena (Kuizing) Grunow				45	45	7
121	Laurencia ciarionensis Seichell & Garaner						/ 7
122	Laurencia deciada E.Y. Dawson						/
123	Laurencia gardneri Hollenberg				45	45	-

No	Especies	EB	BM	BA	IMG	IMR	SL
124	Laurencia masonii Setchell & N.L. Gardner				23		
125	Laurencia multibulba E.Y. Dawson, M. Neushul & R.D. Wildman				19,23		
126	Laurencia pacifica Kylin				19, 23,45,	45	
127	Laurencia papillosa var. pacifica Setchell & N.L. Gardner				45	45	
128	Laurencia peninsularis Taylor				51		
129	Laurencia snyderae Dawson						7
130	Leptocladia binghamiae J. Agardh				16		
131	Leptocladia laxa W.R. Taylor				51		
132	Leptophytum microsporum (Foslie) Athanasiadis et Adey				11		18
133	Lithophyllum imitans Foslie				45	45	
134	Lithothamnion californicum Foslie				19		
135	Lithothamnion volcanum E.Y. Dawson				10,19		
136	Lithothrix aspergillum J.E. Gray				16, 19		
137	Lomentaria casea E.Y. Dawson				45	45	
138	Lomentaria catenata Harvey				19,22		
139	Mazzaella cobinae (E.Y. Dawson) Fredericq						
	= Rhodoglossum cobianae E.Y. Dawson				10,19,20		
140	Melobesia mediocris (Foslie) Setchell & L.R. Mason				19,51		
141	Murrayellopsis dawsonii Post = Veleroa subulata F.V. Dawson	FBCS					
142	Myriogramme caespitosa F.V. Dawson	1000	21		19		
143	Myriogramme crispata (J.D. Hooker & Harvey) Kylin		21		15		
	= Cryptopleura crispa (J.D. Hooker & Harvey) Kützing				19,21,46		
144	Nemalion vermiculare Suringar				10		
4.45	= Nemalion helminthoides var. vermiculare (Suringar) C.K. Iseng				19		
145 146	Nienburgia andersoniana (J. Agardh) Kylin Nitophyllum hollenbergii (Kylin) I A. Abbott				19,21		
140	= Miryograme hollenbergii Kylin				19,21		3
147	Ophidocladus simpliciusculus (P.L. Crouan & H.M. Crouan)						
	Falkenberg						-
148	= Rhodosiphonia californica Hollenberg Osmundea sinicola (Setchell & N.L. Gardner) K.W. Nam						/
110	= Laurencia scrippsensis E.Y. Dawson						
	= Laurencia sinicola Setchell & N.L. Gardne				19,23,45	23,45	
149	Ozophora clevelandii (Farlow) I.A. Abbott C						2,3,19
150	Peyssonnelia magdalenae (E.Y. Dawson) Denizot				16 10 10		
1 - 1	= Cruonella magaalenaeE.Y. Dawson				16,19,10		-
151	Peyssonnella rubra 1. orientalis A. weber-van Bosse				45	4.5	/
152	Pleonosporium globuliterum Levring				45	45	
153	Plocamium carniagineum (Linnaeus) P.S. Dixon Plocamium cartilagineum subsp. pacificum (Kylin) P.C. Silva				45	45	
101	= Plocarium pacificum Kylin						
	= Plocamium coccineum var. Pacificum (Kylin) Dawson				20,51		
155	Pneophyllum nicholsii (Setchell & L.R. Mason) P.C. Silva & P.W.						
	= Heteroderma nicholsii Setchell & L.R. Mason				45	45	
156	Pogophorella californica (L Agardh) Silva	FBCS	FBCS		10	10	
157	Polysinhonia hendry var <i>gardneri</i> (Kylin) Hollenberg	1000	1000				7
158	Polysiphonia iohnstonii Setchell & Gardner		27	27	27 45	45	,
159	Polysiphonia johnstonii var. conccina (Hollenberg) Hollenberg		41	21	45	45	
160	Polysiphonia massonii Setchell & N.I. Cardner				45	45	
161	Polysiphonia mallis I.D. Hooker & Harvey		27		-10 27	-10	
162	Polysiphonia nacifica Hollenbera		21		45	45	
163	Polysiphonia scopulorum var. villum (J. Agardh) Hollenberg				-10	-10	
	= Lophosiphonia villum (J. Agardh) Setchell & N.L. Gardner						2,7,
	= Lophosiphonia scopulorum (Harvey) Womersley	-			19,23	-	8,48

164       Polysiphonia sertularioides (Grateloup) J. Agardh         = Polysiphonia flaccidissima Hollenberg       27       25         165       Polysiphonia simplex Hollenberg       27       25	27,45	
165 Polysinhonia simpley Hollenberg 27.45 0	27,45	
100 Torphonic simplex from the second		28
166Porphyra perforata J. Agardh16,19		
167Porphyra schizophylla G.J. Hollenberg45	45	
168 Porphyra thuretii Setchell & E.Y. Dawson19		
169 Prionitis australis (J. Agardh) J. Agardh45	45	
170 Prionitis delicatula (Taylor) Dawson19		
171 Prionitis divaricata (Okamura) Kawaguchi = Carpopeltis divaricataOkamura 19		
<ul> <li>172 Pseudolithoderma nigra Hollenberg</li> <li>173 Pterocladiella capillacea (S.G. Gmelin) Santelices &amp; Hommersand</li> <li>= Pterocladia mexicana W.R. Taylor</li> <li>= Pterocladia pyramidale (Gardner) Dawson</li> <li>7,16,45,51</li> </ul>	45	26
174 Pterosiphonia bipinnata (Postels & Ruprecht) Falkenberg	45	
175 Pterosiphonia dendroidea (Montagne) Falkenberg23,45,51	45	27
176   Pterosiphonia pennata (C. Agardh) Sauvageau   23		7
<ul> <li>Pterothamnion pectinatum (Kylin) Athanasiadis &amp; Kraft</li> <li>Platythamnion pectinatum Kylin</li> </ul>		7
178 Reticulobotrys catalinae E.Y. Dawson		
179Rhodymenia arborescens E.Y. Dawson19		
180Rhodymenia californica Kylin19,22		
181Rhodymenia dawsonii Taylor19,22,51		
182Rhodymenia lobata E.Y. Dawson45	45	
183 Sarcodiotheca furcata (Setchell & N.L. Gardner) Kylin	7	7,48
184 Sarcodiotheca gaudichaudii (Montagne) P.W. Gabrielson		7
185 Sarcodiotheca linearis Setchell & Gardner	20	
186Schizymenia pacifica (Kylin) Kylin19,20187Schizymenia dubri (Chaurin en Dubri) L Agardh19,20		
= Haematocelis rubens J. Agardh 16,19		
188 Scinaia johnstoniae Setchell 16		
189 Scinaia latifrons M.A. Howe FBCS		
190 Sebdenia flabellata (J. Agardh) P.G. Parkinson – Sobdonia polydartyla (Barasson) M. Balakrishnan 32		
191 Smithora naiadum (C.L. Anderson) G.J. Hollenberg		
= Porphyra naiadum C.L. Anderson 16,51		
192 Sorella pinnata Hollenberg 193 Spongites decipiens (Foslie) V.M. Chamberlain		7
= Lithophyllum decipiens (Foslie) Foslie		47
194 Spyridia filamentosa (Wulfen) HarveyFBCS45	45	
195Stenogramme interrupta (C. Agardh) Montagne ex Harvey20196Stylonema alsidii (Zanardini) K.M. Drew = Goniotrichum alsidii (Zanardini) M.A. Howe45	45	
197 Taylorophycus laxa W.R. Taylor 19,20		
198 <i>Tiffaniella phycophyllum</i> (W.R. Taylor) Gordon 45	45	
199 <i>Tiffaniella</i> snyderae (Farlow) I.A. Abbott = Spermothamnion snyderae Farlow 19	21	7
200 Zanardinula delicatula (W.R. Taylor) E.Y. Dawson 17		

No	Especies	EB	BM	BA	IMG	IMR	SL
					26.27	26.27	
	Antophyta				36,37	30,37	
1	Phyllospadix scouleri Hooker				36,37,51	36,37,39,46	
2	Phyllospadix torreyi Watson		39				
3	Zostera marina Linnaeus				37	37	

1, Abbott (1967); 2, Abbott (1968); 3, Abbott (1969); 4, Abbott (1972); 5, Abbott (1983); 6, Abbott (1985); 7, Abbott & Hollenberg (1976); 8, Aguilar-Rosas & Aguilar-Rosas (1993); 9, Aguilar-Rosas et al. (1990); 10, Anderson (1991); 11, Athanasiadis & Adey (2006); 12, Castillo (1990); 13, Collins (1909); 14, Dawson (1949); 15, Dawson (1950); 16, Dawson (1953); 17, Dawson (1954); 18, Dawson (1960); 19, Dawson (1961a); 20, Dawson (1961b); 21, Dawson (1962); 22, Dawson (1963); 23, Dawson (1964); 24, Gardner (1927); 25, Hollemberg (1961); 26, Hollemberg (1969); 27, Hollemberg y Abbott (1966); 28, Hollemberg & Norris (1977); 29, López-Mendilaharsu et al. (2003); 30, López-Mendilaharsu et al. (2005); 31, Mateo-Cid & Mendoza-González (1993); 32, Norris & Bucher (1977); 33, Norris y Johansen (1981); 34, Pedroche et al. (2002); 35, Pedroche et al. (2005); 36, Ramirez et al. (1998); 37, Ramirez et al. (2002); 38, Ramos Jardón (1989); 39, Riosmena-Rodríguez & Sánchez Lizaso (1996); 40, Riosmena-Rodríguez & Siqueiros-Beltrones (1995); 41, Riosmena-Rodríguez & Siqueiros-Beltrones (1996); 42, Riosmena-Rodríguez et al. (1991); 43, Sánchez-Rodríguez & Cervantes-Duarte (1999); 44, Sánchez-Rodríguez & Hernández-Carmona (1998); 45, Sánchez-Rodríguez et al. (1989); 46, Serviere-Zaragoza et al. (2003); 47, Setchel & Gardner (1920); 48, Smith (1944); 49, Stewart (1991); 50, Stewart & Stewart (1984); 51, Taylor (1945); 52, West & Zuccarello (1990); 53, Wynne & Norris (1976); FBCS, Herbario de la Universidad Autónoma de Baja California Sur.

# Variación en la cobertura, distribución y estructura de los manglares del complejo lagunar Bahía Magdalena-Bahía Almejas (1990-2005)

Joanna Acosta–Velázquez<sup>1,\*</sup>, Arturo Ruiz–Luna<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. Av. Liga Periférico-Insurgentes Sur 4903. Col. Parques del Pedregal, D. Tlalpan. México, DF. CP 14010 <sup>2</sup>Laboratorio de Manejo Ambiental. Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, AC. Av. Sábalo-Cerritos s/n. Estero del Yugo. AP 711, Mazatlán, CP 82000, Sinaloa

RESUMEN: La cobertura, distribución, estructura forestal y variación temporal de los manglares de Bahía Magdalena-Almejas fueron evaluadas usando técnicas de percepción remota con verificación in situ. Se obtuvieron mapas temáticos con las clases Manglar, Superficies acuáticas y Otros, mediante clasificación híbrida de imágenes Landsat TM de 1990 y 2005. Para 2005 se estimó una superficie de manglar superior a 17000 ha, que representan 70% de la cobertura total de manglar en Baja California Sur. De éstas, el 75% se ubicaron en Bahía Magdalena y 25% en Bahía Almejas. La exactitud global de la clasificación fue de 93%, (K' = 0.92). La clase manglar fue subclasificada como matorral, bosque mixto y bosque monoespecífico a partir de los datos de campo. El manglar tipo bosque incluye a la especie Rhizophora mangle y a Laguncularia racemosa como especie dominante, con densidades de 2339 a 5922 ind·ha<sup>-1</sup> y área basal de 20.6 a 58.5 m<sup>2</sup>·ha<sup>-1</sup>. El tipo matorral también incluye Avicenia germinans con densidades máximas de 30000 ind·ha<sup>-1</sup>. Se estimó una reducción de manglares de más de 1500 ha entre 1990 y 2005, siendo la subclase matorral el componente más afectado, en tanto que el bosque monoespecífico mostró un incremento importante (48%). Se calculó una tasa media de deforestación anual de 0.55, aunque disminuyó a 0.15 anual evaluándola sólo para el estrato arbóreo. Los manglares de Bahía Magdalena-Almejas están sometidos a bajo impacto por actividades antropogénicas comparativamente con otras localidades de México, por lo que deben establecerse programas de conservación asociados a planes de manejo sustentable regional para mantener el estado actual de este importante sistema de manglar.

PALABRAS CLAVE: Manglares · Percepción remota · Estructura forestal · Distribución · Firma espectral

ABSTRACT: The extent, distribution, forest structure and temporal variability of Bahia Magdalena-Almejas mangroves were assessed using remote sensing techniques and in situ observations. Thematic maps were produced with the classes Mangrove, Aquatic surfaces, and Others, by hybrid classification methods using Landsat TM images (1990 and 2005). Mangrove extent during 2005 was estimated above 17000 ha, which represents 70% of the total mangrove area in Baja California Sur, distributed between Bahía Maqdalena (75%) and Bahía Almejas (25%). The final map output an overall accuracy of 93% (K' =0.92). Mangrove class was then subclassified into shrub, mixed and monospecific forest, based on field data. The forest subclasses include Rhizophora mangle and Laguncularia racemosa species, being dominant the last species, with densities from 2339 to 5922 ind ha<sup>-1</sup> and basal area ranging from 20.6 to 58.5 m<sup>2</sup>·ha<sup>-1</sup>. Shrub mangrove includes also Avicennia germinans, with densities up to 30000 ind ha<sup>-1</sup>. The mangrove area diminished more than 1500 ha between 1990 and 2005, with the shrub subclass as the most disturbed, while the monospecific forest displayed a significant increase (48%). The estimated annual mean deforestation rate was 0.55, but it was lower (0.15 year<sup>-1</sup>) if only the mangrove forests were included. Bahía Magdalena-Almejas mangroves system seems to be exposed to relatively low human impact compared with other Mexican systems. Effective conservation programs and sustainable management plans will be required to preserve this important mangrove ecosystem.

KEY WORDS: Mangroves  $\cdot$  Remote sensing  $\cdot$  Forest structure  $\cdot$  Classification  $\cdot$  Distribution  $\cdot$  Spectral signature

#### INTRODUCCIÓN

Los manglares son humedales costeros complejos y dinámicos, caracterizados por su alta productividad primaria, que pueden ser definidos como vegetación de forma arbórea y/ó arbustiva, con desarrollo de raíces aéreas y algún grado de viviparidad. Los manglares están adaptados a hábitats salinos, generalmente ausentes en sedimentos ricos en materia orgánica, con condiciones reductoras y anóxicas, que pueden estar sujetos a inundaciones periódicas producidas por las mareas (Tomlinson 1986).

En términos generales, los manglares se localizan en las zonas intermareales de baja energía, que corresponden al ecotono entre el ambiente marino y terrestre, representando a la comunidad vegetal con mayor desarrollo, productividad y diversidad dentro de los sistemas costeros. Se ha propuesto que los manglares tienen un origen biogeográfico asiático y de acuerdo con los criterios de diversos autores, el número de especies puede variar de 50 a más de 100, comprendidas entre 12 y 20 géneros agrupados entre ocho a 30 familias (Lugo & Snedaker 1974, Tomlinson 1986, Spalding et al. 1997). Este tipo de vegetación costera representa aproximadamente el 7.5% de la extensión de los bosques tropicales y subtropicales del mundo, siendo particularmente interesante su presencia en zonas semiáridas, como es el caso de los manglares de Baja California Sur y Sonora, ya que este tipo de comunidad vegetal tiene su mejor desarrollo en zonas con precipitación pluvial alta (> 1500 mm año<sup>-1</sup>) y temperaturas medias >20° C (Waisel 1972). Estas condiciones no son típicas de la región noroeste de México. Lugo & Patterson-Zucca (1977) señalan gue cuando las temperaturas descienden de 20° C y presentan fluctuaciones temporales de más de 10° C, los árboles de Rhizophora mangle tienden a disminuir su complejidad estructural, viéndose impactada negativamente su densidad, altura y tamaño de las hojas.

Por su ubicación en la línea de costa, sus características estructurales y su aporte de materia orgánica, los manglares desempeñan un papel crucial en el desarrollo de diversas comunidades costeras, actuando como zona de refugio y alimentación para un número significativo de vertebrados e invertebrados, muchos de ellos con valor comercial (Rodelli et al. 1984, Alongi 2002). Al mismo tiempo protegen de la erosión a la línea de costa y actúan como barrera física contra eventos como tormentas tropicales, huracanes, maremotos o tsunamis, contribuyendo además al mantenimiento de la calidad del agua y prevención de inundaciones (Danielsen et al. 2005).

A pesar de su importancia ecológica y socioeconómica, esta comunidad vegetal se encuentra amenazada a nivel mundial, principalmente por efecto de la deforestación y cambios de uso de suelo, pero también por la alteración de los regímenes hidrológicos naturales a causa de diversas actividades en la parte alta de la cuenca. Dado que los humedales costeros se ubican en la parte terminal de las cuencas hidrológicas, los cambios de cobertura y usos de suelo a lo largo de éstas tienen un notable efecto sobre las tasas de erosión y en la cantidad y calidad del agua que proviene de los escurrimientos, que afecta directamente el equilibrio de los ambientes de humedales.

Las decisiones que favorecen la conversión de los manglares a otro tipo de cobertura o uso de suelo, se dan frecuentemente porque el valor ecológico y económico de los manglares es ignorado o, es considerado de bajo rendimiento socio-económico, lo cual resulta en la transformación de estas áreas en alternativas no sustentables (Saenger et al. 1983, Field 1999). A nivel mundial se estimaron pérdidas del 35% del área de manglares, desde mediados de la década de 1980, identificando a la camaronicultura como el principal agente transformador de este ecosistema en épocas recientes (Valiela et al. 2001, Primavera 2005). En México, las cifras de pérdida de áreas de manglares en las últimas dos décadas son discrepantes, con estimaciones que varían del 10 al 65% de pérdida de la cobertura a nivel nacional (Yañez-Arancibia et al. 1993, Tovilla 1994). Estas discordancias dificultan un análisis confiable de la situación actual de los manglares del país y por lo tanto limitan las posibilidades de manejo sustentable de estos recursos (Ruiz-Luna et al. en prensa).

Es evidente que bajo un escenario de tendencia a la reducción de la superficie y a la degradación de los manglares, se requiere de un manejo racional de estos ecosistemas en escalas local, regional, nacional y global. Por lo tanto, es indispensable contar con información periódica sobre la dinámica espacial y temporal de las coberturas y usos del suelo, a fin de medir, predecir y en su caso, dirigir las tendencias de cambio para promover el uso adecuado de estos ecosistemas. La percepción remota ofrece una visión sinóptica y repetitiva de los rasgos terrestres útil para la detección, descripción, cuantificación y seguimiento de variables ambientales relacionadas con la dinámica y usos de los ecosistemas. La tecnología satelital combinada con Sistemas de Información Geográfica (GIS) y verificación del tipo de vegetación in situ son una herramienta fundamental para el manejo y control de los ecosistemas (Dahdouh-Guebas 2002).

Se ha utilizado una gran variedad de sensores y métodos de procesamiento de imágenes para el estudio de los manglares mediante percepción remota. Debido a su continuidad temporal, la serie correspondiente al satélite Landsat ha sido, posiblemente la más frecuentemente utilizada para evaluaciones de cambio en la extensión de bosques de manglar. Green et al. (1998) revisaron 27 estudios sobre manglares de diversas regiones, publicados entre 1979 y 1995, encontrando que de estos, en 13 trabajos se utilizaron datos provenientes del sensor Thematic Mapper (TM) del satélite Landsat. El uso de estas técnicas en el manejo costero permite realizar mapas e inventarios de manglares para la detección de cambios de extensión, la evaluación de sitios potenciales para la acuicultura e inventario de estangues acuícolas en el hábitat de manglar (De la Lanza et al. 1996, Ramírez-García et al. 1998, Ruiz-Luna y Berlanga-Robles 1999, Green et al. 2000, Hernández-Cornejo &

Ruiz-Luna 2000, Kovacs et al. 2001, Alonso-Pérez et al. 2003, Hernández et al. 2005). Asimismo, a partir de las diversas capacidades espaciales y espectrales de los sensores satelitales, se han llevado a cabo estudios de manglar relacionados con índices de vegetación (Green et al. 1997, Ramsey III & Jensen 1996, Kovacks et al. 2004), estructura forestal (Ruiz-Luna et al. 2004, Monzalvo 2006) y la identificación de bordes de manglar por clasificación de imágenes Landsat TM y de radar JERS-SAR (Syed et al. 2001), entre otros.

Basados en técnicas de análisis similares a las utilizadas en los trabajos previamente citados, el presente estudio presenta un método eficiente, sencillo y relativamente económico para relacionar datos provenientes de imágenes de satélite con la estructura forestal de los manglares, calibrada con observaciones de tipo de vegetación in situ en el complejo lagunar de Bahía Magdalena-Bahía Almejas. Basados en la existencia de una relación entre la estructura forestal y la respuesta espectral generada por manglares con diferencias fisonómicas notables, también se analiza la variación temporal de la extensión de la cobertura de manglares y de sus características fisonómicas ocurridas entre 1990 y 2005, con objeto de determinar las tendencias netas de cambio en la cobertura de manglar del sistema lagunar Bahía Magdalena-Almejas.

#### **ÁREA DE ESTUDIO**

Se analizó la distribución de los manglares dentro del sistema lagunar Bahía Magdalena-Almejas, que es uno de los cuerpos lagunares más grandes del Pacífico Mexicano, con un área estimada de entre 1200 y 1450 km<sup>2</sup>, dependiendo de la definición de los límites del complejo lagunar. Este sistema está protegido por tres islas de barrera, Magdalena, Margarita y Creciente, dispuestas de norte a sur. La boca principal que conecta con el Océano Pacífico, se localiza entre Isla Magdalena y Punta Redonda en Isla Margarita, con una amplitud de 5.5 km, y profundidades de hasta 40m en el canal principal. Este sistema fue designado como Región Hidrológica Prioritaria por la Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO) en 1998 y también fue decretada como sitio AICA (Área Importante para Conservación de Aves). Las principales actividades económicas de la zona son el ecoturismo, pesquerías de peces pelágicos menores (sardinas), camarón, langosta, escama, jaiba y bivalvos y hasta hace unos años también se explotaban los yacimientos de fosforita. De acuerdo con la Carta Nacional Pesquera, las pesquerías artesanales de este complejo lagunar son las capturas de mayor volumen y valor económico para el estado de Baja California Sur (Carta Nacional Pesquera 2004).

#### MATERIALES Y MÉTODOS

**Procesamiento de las imágenes de satélite.** Se realizó un proceso de clasificación de imágenes de satélite

(Landsat TM5), para dos fechas distintas (abril de 1990 y marzo de 2005). Ambas imágenes corresponden a la ruta 35 y fila 43 del sistema mundial de referencia de Landsat (WRS2). Aunque en general éstas imágenes tienen características espaciales similares, con el fin de ajustarlas para análisis comparativos píxel a píxel, fueron corregidas geométrica y geográficamente, y posteriormente proyectarlas a la zona 12 norte del sistema Universal Transverso de Mercator, datum WGS84.

Una vez corregidas las imágenes geométrica y geográficamente, se realizó un procedimiento de enmascaramiento y eliminación de las áreas marinas y terrestres no asociadas con cobertura de manglar. Se digitalizaron vectores sobre las áreas a enmascarar, tomando como base imágenes compuestas en falso color (bandas 532, modo RGB) y posteriormente se convirtieron a formato raster, asignando el valor de 0 a los pixeles que era necesario eliminar y de uno a aquellos cuyo valor espectral deseaba mantenerse en todas las bandas para su análisis (bandas 1-5, 7). Mediante algebra matricial de mapas (multiplicación), se eliminaron las áreas con valor de cero en todas las bandas y se procedió a la clasificación de las imágenes.

Primero se clasificó la escena de fecha más reciente, utilizando técnicas de clasificación no supervisada, con el algoritmo ISODATA. Las categorías espectrales resultantes fueron posteriormente reclasificadas en tres clases generales: (1) manglar, (2) superficies acuáticas y (3) otros (Tabla 1). Para dar mayor resolución en la evaluación durante el proceso de reclasificación de estas tres categorías, se tomaron en cuenta valores del Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI, por sus siglas en inglés), que es un indicador de la condición de la vegetación, en función de la respuesta de la concentración de clorofila y de la estructura de la pared celular a las longitudes de onda del rojo e infrarrojo cercano. El NDVI tiene un intervalo de valores de -1 a 1, donde nubes, agua, suelos desnudos, rocas y elementos afines tomaron valores negativos o próximos a 0, los cuales fueron eliminados antes de continuar con el análisis posterior, mientras que los valores cercanos a uno corresponden a pixeles dominados por cubierta vegetal sana y abundante (Campbell 1996).

Una vez que se concluyó el mapa temático con las tres clases antes señaladas, se efectuó un proceso de clasificación similar al anterior, pero involucrando únicamente a la clase manglar. Para este propósito se eliminó de cada banda a los otros dos componentes de la clasificación (superficies acuáticas y otros) y se inició un proceso de subclasificación no supervisada sobre píxeles que correspondían únicamente a la clase manglar, separándose subclases con distintas respuestas espectrales. El número de subclases se redujo a 3, cada una asociada a tipos de manglar con características estructurales distintas, de acuerdo a lo observado en el campo (Tabla 1). Para la agregación de las categorías espectrales se usó el Índice de Divergencia Transformada  $(t_{ii})$  como una medida de distancia entre los valores espectrales (Richards & Jia 1999). Cuando el valor de  $t_{ii}$ fue inferior al 80%, se consideró como indicador de

Clase	Descripción
(1) Manglar	Incluye los ecosistemas de manglar, tanto del estrato arboreo como de matorral, con cobertura de la vegetación mayor al 20%. Especies: <i>R. mangle, A. germinans</i> y <i>L. racemosa</i> . Esta clase fue subdividida en las siguientes 3 subclases:
	(1a) Manglar tipo matorral: Incluye los humedales dominados por vegetación leñosa menor a los 2 m de altura en zonas intermareales. La cobertura de la vegetación es mayor al 20%. Especies: Rhizophora mangle, Avicennia germinans y Laguncularia racemosa.
	(1b) Bosque mixto: Conformado principalmente por las especies <i>L. racemosa</i> y <i>R. mangle</i> , con densidad promedio de 4438 ind·ha <sup>-1</sup> y área basal de 32.5 m <sup>2</sup> ·ha <sup>-1</sup> .
	(1c) Bosque monoespecífico: Incluye únicamente a la especie L. racemosa, con densidad promedio de 4183 ind. ha <sup>-1</sup> y área basal de 52.8 m <sup>2</sup> ha <sup>-1</sup>
(2) Superficies acuáticas	Sistemas estuarinos, canales y cauces de ríos, excluyendo al Océano Pacífico
(3) Otros	Llanuras costeras inundables, agricultura, desarrollos rurales y urbanos, vegetación natural distinta al manglar

Tabla 1. Clases y subclases de cobertura del terreno incluidas en la clasificación de imágenes de satélite Landsat para el sistema lagunar Bahía Magdalena-Bahía Almejas

similitud entre dos firmas espectrales, agrupándose a las clases correspondientes. Este método permitió que las subclases generadas con una distribución normal fueran posteriormente agregadas en función de su afinidad espectral.

La clasificación de la imagen de 1990 fue mediante métodos supervisados y dado que no se contó con información in situ del tipo de vegetación para esa fecha, se utilizaron inicialmente las clases del mapa temático de 2005 (manglar, superficies acuáticas y otros) como campos de entrenamiento. Esta decisión fue realizada considerando que no existe un cambio notable en la distribución de manglar o en la superficie acuática entre ambas fechas analizadas. Posteriormente se afinó la clasificación resultante para incorporar áreas de manglar que no fueron incluidas por el proceso de clasificación supervisada, o para eliminar regiones que no correspondían a vegetación con base en el análisis de los valores de NDVI de la imagen de 1990. Las subclases de manglar fueron definidas utilizando los mismos criterios y procedimientos que los realizados con la imagen del 2005.

**Registro de información in situ y exactitud de la clasificación.** En el presente trabajo se registró información *in situ* en la época de estío, durante abril del 2004 y mayo del 2005, que corresponden a la misma temporada en la que fueron obtenidas las imágenes usadas para el análisis digital. Debido a que el presente estudio formó parte de un proyecto de mayor cobertura geográfica (ecosistemas de manglar en el noroeste de México), por cuestiones logísticas no fue posible realizar

transectos para la estimación de estructura forestal en todo el complejo lagunar. Se efectuaron transectos de observación solamente en la parte norte de Bahía Magdalena, aunque se registró otro tipo de información (posición geográfica, especie principal y fisonomía) a lo largo del complejo lagunar Bahía Magdalena-Almejas.

El trabajo de campo permitió determinar la estructura forestal correspondiente a cada transecto y registrar puntos de control que fueron georreferenciados con un sistema de posicionamiento global (GPS) marca Garmin (Rino 120, precisión <15 m). De acuerdo con las observaciones realizadas *in situ*, los grupos resultantes de la clasificación de manglar se etiquetaron como: (1a) tipo matorral, (1b) bosque mixto y (1c) bosque monoespecífico, generándose con esta información el mapa temático definitivo. Las características generales de las clases y subclases que fueron integradas al estudio se presentan en la Tabla 1.

Los puntos de control registrados en campo fueron utilizados para estimar la exactitud de la clasificación correspondiente a la imagen del 2005, evaluándose la exactitud global porcentual (%), la exactitud del productor (EP) y del usuario (EU), que permiten determinar la exactitud a nivel de clase (Congalton & Green 1996). Finalmente, se evaluó un estimador del coeficiente de Kappa (K'), que permite determinar estadísticamente si la clasificación resultante, es significativamente distinta de una clasificación generada al azar y que al mismo tiempo permite determinar el nivel de concordancia entre los datos de referencia (*in situ*) y los obtenidos de la clasificación.

Para la clasificación de la imagen de 1990 no fue posible estimar su exactitud por falta de información auxiliar (datos en campo), aunque se asumió un error de magnitud semejante a la imagen de 2005. Una vez que se finalizó la clasificación de ambas imágenes se realizó un análisis de post-clasificación, con matrices de detección de cambio que permiten comparar píxel por píxel a dos mapas temáticos producidos independientemente (Singh 1989). Este tipo de análisis es conocido como "tabla de contingencia" y permite calcular la conjunción lógica de todas las combinaciones posibles de las clases representadas en ambos mapas (Eastman et al. 1995, Jensen et al. 1998). En un arreglo similar a la matriz de error, pero comparando mapas de diferentes fechas, la diagonal superior de la matriz representa píxeles de la misma clase en ambas fechas (Mas 1999, Ramsey III et al. 2001, Berlanga-Robles & Ruiz-Luna 2002).

La información contenida en las tablas de contingencia también permitió estimar la Estabilidad de Localización (EL) y la Estabilidad de Residencia (ER). La EL estima la proporción de una clase que permanece como tal, en la misma localidad en ambas fechas de estudio. El valor inferior (0) denota que la clase fue totalmente desplazada de su localización original, en tanto que el límite superior (100) implicaría cambio temporal nulo. De manera análoga, la ER es una estimación de cambio de cada clase con respecto al área total durante el periodo de estudio, por lo que comprende valores negativos cuando existe pérdida de cobertura de una clase asignada y, tiene valores positivos cuando la clase aumenta con respecto al año inicial y es cero cuando la clase no presenta cambios temporales. De acuerdo con Ramsey III et al. (2001), la EL y la ER se estiman de acuerdo a las siguientes fórmulas:

$$EL = \left[\frac{\text{cobertura en el año base - pérdida de cobertura presente en el año base}}{\text{cobertura en el año base}}\right] \times 100$$
$$ER = \left[\frac{\text{cobertura en el año final - cobertura en el año base}}{\text{cobertura en el año base}}\right] \times 100$$

Adicionalmente, se estimó la tasa media de deforestación anual del manglar (dn) con el modelo propuesto por Palacio-Prieto et al. (2004). Normalmente se expresa como porcentaje ( $dn \cdot 100$ ):

$$\delta n = \left[ \left( \frac{\text{cobertura en el año final}}{\text{cobertura en el año base}} \right) \frac{1}{n\text{úmero de años}} - 1 \right]$$

**Estructura forestal**. La determinación de la estructura forestal de los manglares en el área de estudio, fue mediante la selección de localidades consideradas como representativas en función de los resultados derivados de clasificaciones preliminares. Una vez que se tuvo acceso a las localidades seleccionadas se efectuaron transectos para determinar los siguientes parámetros de la estructura forestal de los manglares: (1) densidad, (2) área basal y (3) composición de especies.

La estructura se analizó de acuerdo al tipo fisonómico, bosque o matorral. Para bosques se utilizó el método modificado de cuadrantes centrados en un punto (Cintrón & Schaeffer 1984), que consiste de transectos sobre los que se seleccionan puntos equidistantes de muestreo. En cada punto, el área circundante se dividió imaginariamente en cuadrantes, ubicando el árbol más cercano en cada cuadrante, la determinación de la especie y el registro de la distancia (m), así como del diámetro a la altura del pecho DAP (cm), que permitió posteriormente evaluar la circunferencia correspondiente. Este método es útil para evaluar la ocurrencia de especies, densidad, área basal y frecuencia. En total se realizaron siete transectos en siete localidades, todos ellos en la región norte de Bahía Magdalena (Fig. 1).

La determinación del manglar tipo matorral se hizo con base al método de Valdéz (2002), utilizado de manera parcial en individuos con DAP menor a 2.5 cm. Este método se basa en la selección de parcelas de  $4 \times 4m$  (16 m<sup>2</sup>) y de  $1 \times 1m$ . En las parcelas de 16 m<sup>2</sup> se registró la densidad de los tallos <2.5 cm de DAP, pero >1.3 m de altura; y en las de 1 m<sup>2</sup> la abundancia de los tallos <1.3 m de altura, pero >30 cm de altura. Se seleccionaron cuatro localidades en el área de estudio y se evaluaron un total de 80 parcelas.

Finalmente, se conjuntó la información para caracterizar las comunidades de manglar de Bahía Magdalena– Almejas de fechas recientes y se determinó en que sentido han ocurrido los principales cambios de la cobertura vegetal, tanto en su extensión y distribución, como en relación a su estructura forestal.

#### RESULTADOS

#### Extensión y distribución

Identificando al manglar como clase única, independientemente de sus características fisonómicas y fenológicas, se estima que presenta una cobertura total de aproximadamente 17000 ha, en el complejo lagunar Bahía Magdalena-Almejas, de acuerdo a la imagen correspondiente al 2005. De éstas, la mayor proporción correspondió a la clase bosque mixto (44.6 %), seguida del matorral (30.8%) y finalmente del bosque monoespecífico (24.6%). De acuerdo con los registros de campo, la exactitud global de la clasificación fue de aproximadamente 90%, lo que corresponde a un nivel de alta concordancia entre los datos de referencia registrados en campo y la clasificación. Con base en lo anterior, aún es posible asumir variaciones del resultado obtenido, ya que en la franja que colinda con el espejo de agua o con el ambiente terrestre, la resolución de la imagen no permite una discriminación perfecta, lo cual pudieran diferir con otros estudios, debido a una sobreestimación de áreas donde la respuesta espectral dominante corresponde a agua o suelos.

La mayor parte del manglar de la región se distribuye en Bahía Magdalena, con aproximadamente el 75% del total estimado. En Bahía Almejas, los manglares principales se concentran sobre la costa occidental de la bahía, principalmente en el extremo norte adyacente a



Fig. 1. Localidades de muestreo (transectos y cuadrantes) en el complejo lagunar Bahía Magdalena–Bahía Almejas, BCS y distribución del manglar (polígonos en verde) obtenida por clasificación de imagen del satélite Landsat (Ruta 35; hilera 43. Marzo 2005). I = Boca la Soledad, II = Puerto San Carlos

Punta Cancún. También existen manglares en el centro de la bahía, particularmente al norte y noroeste de Puerto Chale, en la desembocadura del arroyo La Pasión. En esta última zona es donde se encuentra el principal desarrollo de cultivo de camarón de la región, aún incipiente (aproximadamente 200 ha de estanquería construida).

En la Isla Margarita, existen manglares solamente en la parte sur interior de la bahía. En Isla Creciente, la cobertura de manglar es comparativamente mayor, con una zona de manglar de aproximadamente 10 km de extensión y un ancho máximo de  $\sim$ 0.5 km, ubicado paralelamente a la línea de costa, con una barrera arenosa en la parte central (Fig. 1).

La mayor cobertura de manglar en Bahía Magdalena se localiza en la parte norte de este sistema, distribuido en numerosas áreas de manglares separados y alineados en dirección sur a norte, tanto en la parte continental como en la costa interior de Isla Magdalena, conectándose con el canal que llega hasta Puerto Adolfo López Mateos y la Boca de La Soledad.

#### Estructura de la vegetación

La caracterización de la estructura de los manglares tipo bosque determinada en siete transectos al norte de Bahía Magdalena (Fig. 1), indica que la comunidad vegetal está compuesta por *Laguncularia racemosa* y *Rhizophora mangle*. Dentro de éstas, la especie dominante fue *L. racemosa*, con densidades que varían entre 2339 a 5922 ind·ha<sup>-1</sup> y un área basal de 20.6 a 58.5 m<sup>2</sup>·ha<sup>-1</sup>. *R. mangle* presentó valores de densidad y área basal comparativamente menores, con 1145 a 2585 ind·ha<sup>-1</sup> y un área basal de 1.2 a 8.0 m<sup>2</sup>·ha<sup>-1</sup>. Estas observaciones permitieron definir las subclases de manglar tipo bosque monoespecífico y mixto, a partir de su estructura, fisonomía y composición específica. Los valores de densidad absoluta, relativa y de área basal por transecto se presentan en la tabla 2. Se asignó la denominación de bosque de manglar monoespecífico en función de los resultados del transecto, aun cuando ocasionalmente se observó la presencia de *R. mangle.* 

La comunidad vegetal de tipo matorral que fue evaluada en cuatro cuadrantes localizados al norte y centro de Bahía Magdalena (Fig. 1), presentó, además de las dos especies anteriores, también a individuos de *Avicennia germinans*. En el caso de individuos con tallos cuyo DAP fue <2.5 cm, pero con alturas >1.3 m, se evaluaron densidades que variaron de 938 a 5625 ind·ha<sup>-1</sup> en total.

Dentro de este tipo fisonómico de manglar, la especie R. mangle estuvo presente en todos los sitios de muestreo y presentó la mayor densidad (5417 ind·ha<sup>-1</sup>). En conjunto con *L. racemosa* dio la mayor densidad registrada en la zona (Tabla 3). Esta última especie fue identificada sólo en tres de los cuatro cuadrantes muestreados, mientras

que A. germinans fue observada únicamente en dos de ellos, con densidades de 938 a 3958 ind $\cdot$ ha $^{-1}$ .

La densidad total del estrato arbustivo con tallos <1.3 m pero >30 cm de altura, se estimó entre 15800 y 30000 ind·ha<sup>-1</sup> y como en el caso anterior, tanto *R. mangle* como *A. germinans* presentaron las máximas densidades individuales de aproximadamente 20000 ind·ha<sup>-1</sup> (Tabla 3). También *R. mangle* registró las menores densidades, con poco más de 3000 ind·ha<sup>-1</sup> y aunque estuvo presente en todos los sitios de muestreo, no se manifestó un arreglo específico en la distribución de especies.

#### Detección de cambios

Los procesos de sub-clasificación de la cobertura se hicieron basados en la estructura forestal de las clases fisonómicas. El número de clases espectrales estimadas por medio de la clasificación no supervisada de la clase manglar fue reducido a tres, cuyos valores promedio de brillantez (DN; número digital por sus siglas en inglés, con valor máximo de 255 y mínimo de 0) de cada banda y su variación asociada fueron usadas para definir las firmas

Tabla 2.	Densidad	y área	basal	de la	s especies	de 1	manglar	de	tipo	bosque e	en	localidades	de	Bahía	Magdal	ena-Bahi	a Al	mejas,
				Μ	éxico. Posi	ción	. geográf	ica (	(X,Y)	en UTM	1. E	Datum WGS	84					

Localización		_		Densid	lad			
Х	Y	Subclase	Especie	Absoluta ind∙ha <sup>-1</sup>	Relativa (%)	Área basal (m²·ha⁻¹)		
388559	2797688	Bosque mixto	L. racemosa	2339	47.5	33.2		
			R. mangle	2585	52.5	3.7		
			Total	4925	100.0	36.9		
390911	2798619	Bosque mixto	L. racemosa	2671	70.0	20.6		
			R. mangle	1145	30.0	8.0		
			Total	3815	100.0	28.6		
387660	2789911	Bosque mixto	L. racemosa	3311	72.5	47.3		
			R. mangle	1256	27.5	1.2		
			Total	4567	100.0	48.5		
388584	2797696	Bosque mixto	L. racemosa	2536	58.8	26.2		
			R. mangle	1781	41.2	6.1		
			Total	4317	100.0	32.3		
387698	2789318	Bosque mixto	L. racemosa	3311	72.50	47.3		
			R. mangle	1256	27.50	1.2		
			Total	4567	100.0	48.5		
389527	2799732	Bosque monoespecífico	L. racemosa	2443	100.0	58.5		
386885	2793514	Bosque monoespecífico	L. racemosa	5922	100.0	47.1		

Localidad		Especies	Denside	ad 4×4	Densidad 1×1		
Х	Y	de manglar	Absoluta	Relativa	Absoluta	Relativa	
389089	2743288	R. mangle	938	100.0	21250	100.0	
387723	2742952	A. germinans	3958	76.0	19167	63.9	
		L. racemosa	1250	24.0	5833	19.4	
		R. mangle	-	-	5000	16.7	
		Total	5208	100.0	30000	100. 0	
393757	2742327	A. germinans	938	50.0	-	-	
		L. racemosa	938	50.0	12500	47.6	
		R. mangle	-	-	13750	52.4	
		Total	1876	100.0	26250	100.0	
391077	2798614	L. racemosa	208	3.7	12500	79.0	
		R. mangle	5417	96.3	3333	21.0	
		Total	5625	100.0	15833	100.0	

Tabla 3. Densidad de manglar tipo matorral (ind. ha<sup>-1</sup>) en cuadrantes de 4´4 (16 m²) y 1´1 m, en el sistema lagunar Bahía Magdalena-Almejas, México. Posición geográfica (X,Y) en UTM. Datum WGS84

espectrales correspondientes (Fig. 2). La respuesta espectral que representa el mayor vigor vegetal cuenta con los menores valores de la banda tres (rojo) y los mayores de la banda cuatro (infrarrojo cercano). Este tipo de respuesta espectral se asoció con la cobertura denominada bosque monoespecifico, dado que los transectos donde dominó la especie *L. racemosa*, se ubican geográficamente en áreas asociadas con pixeles donde domina este tipo de respuesta espectral. En ese orden, se asignó la firma espectral intermedia al bosque mixto y finalmente fue asociada la firma espectral representativa de un menor vigor vegetal al manglar tipo matorral.

Una vez que se llevó a cabo este proceso, se integró el mapa temático final que incluye a las tres subclases de manglar, las superficies acuáticas y la clase denominada como "otros". El análisis de la exactitud del mapa final basado en 151 puntos de control, con un promedio próximo a 30 puntos de control por clase, dio un coeficiente estimado global de exactitud >90%, lo mismo que en la mayoría de los valores estimados de exactitud del productor y del usuario, donde todos los valores estuvieron >85% (Tabla 4). Estos valores indican un elevado nivel de concordancia entre los datos de referencia observados en campo y la clasificación. Asimismo, el valor estimado para el coeficiente de Kappa, fue >90%, considerado como óptimo de acuerdo a la escala propuesta por Landis & Koch (1977). El valor de K' indica que el procedimiento utilizado produjo una mejor clasificación estadística que una clasificación generada al azar, por lo que los valores obtenidos para el

indicador de exactitud del usuario, el mapa se presenta con un elevado nivel de confiabilidad.

En lo que respecta a la detección de cambios, la superficie estimada para el 2005 (~17000 ha) es inferior a la calculada para 1990 (~18700 ha de manglar), lo cual representa una reducción de aproximadamente el 10%. Tomando en consideración que existe un error asociado a la clasificación de ambas imágenes y que corresponde aproximadamente al 10%, se tiene una estimación para la pérdida neta de los manglares de aproximadamente 1650 ha que representarían una tasa media de deforestación anual de 0.55 para el periodo considerado (110 ha·año<sup>-1</sup>) del complejo lagunar. Esta estimación pudiera variar ligeramente, una vez que se afinen las técnicas de clasificación o mejore en un futuro la resolución de imágenes.

De acuerdo con los resultados derivados del análisis de las clasificaciones, el manglar de tipo bosque monoespecifico representó la única cobertura con ganancia neta, equivalente a 1370 ha, mientras que el manglar mixto obtuvo la mayor pérdida neta con 1635 ha. El bosque en su conjunto presentó una pérdida total de aproximadamente 300 ha en 15 años. En tanto que la clase correspondiente a matorral, también presentó pérdida, con una reducción en su extensión de más de 1300 ha. Las tasas de deforestación y la proporción ganancias/perdidas netas se observan en la tabla 5.

La comparación píxel por píxel para la detección de cambios (Tabla 6) del manglar tipo bosque monoespecífico, obtuvo la mayor estabilidad de localización con un valor de 77%, lo que indica que solo



otra clase en el 2005. Del total, 381 ha se presentan como bosque tipo mixto, mientras que 197 ha cambiaron a superficies acuáticas y solo 65 ha, como manglar tipo matorral. Esta pérdida fue compensada con ganancias a partir de otras clases, por lo que también el monoespecifico obtuvo la mayor estabilidad de residencia (48.4%). El incremento asociado se produjo a expensas de la subclase bosque mixto, con 1692 ha, del manglar tipo matorral (183 ha), de las clases superficies acuáticas (80 ha) y otros (69 ha). Dado este crecimiento, el valor de dn, es decir de la tasa de deforestación anual, obtuvo valores positivos (2.7). Al considerar nuevamente a la clase bosque en su conjunto, el valor de dn obtenido corresponde a tasas de deforestación relativamente bajas (-0.15).

Finalmente, la clase matorral presentó la menor estabilidad de residencia (-20.9) y la tasa de localización más baja (41.1), indicando un comportamiento muy dinámico en términos de ocupación espacio-temporal, con tendencias negativas y cuya tasa media anual de deforestación fue la más alta estimada en este estudio (-1.55).

#### DISCUSIÓN

Para ubicar los resultados que se discuten en el presente trabajo, es importante mencionar en principio que el presente estudio forma parte de un proyecto de mayor cobertura geográfica, encaminado a caracterizar los sistemas de manglar del noroeste de México, por lo que la estrategia de muestreo incluyó además del sistema Bahía Magdalena-Almejas, a otros sistemas ubicados en Baja California Sur (Ruiz-Luna et al. 2004). Por lo anterior, una de las principales observaciones al presente estudio, pudiera centrarse en la distribución de los transectos y cuadrantes realizados in situ, que son representativos de una zona particular de Bahía Magdalena-Almejas, específicamente de la parte de Boca La Soledad al norte del sistema lagunar y en Puerto Chale.

valores promedio y extremos de brillantez (ND), mientras que en el cuadro adjunto se observan los valores promedio y desviación estándar (d.e.), además del número de píxeles que componen la muestra

B4

Bandas Landsat

B1 B2

89.7 37.2

4.3 3.4

86.6 35.5

3.0 2.1

82.7 33.6

2.6

Fig. 2. Respuesta espectral en las bandas B1-B5 y B7 del satélite

Landsat TM para tres categorías de manglar en Bahía

Magdalena-Bahía Almejas, BCS. Con líneas y símbolos los

d.e.

media

d.ø.

media d.e.

B5

B3

38.9 68.4 55.0 22.2

4.1 2.8 5.7 4.2

**B4** B5

80.3 1.0 97.3 35.3 2.5 31.6

B7

49.5

43.9

3.2

B7

2.4

1.8

Bosque mixto

Bosque monoespecífico

180

160

140 120

100

80

60

40

20

180

160

140

120

100

80 60

40

20

0

180

160 140

120

100

80

60 40 20

0

Clase

Bosque monoespecífico

Manglar tipo matorra

Bosaue mixto

B1

B2

Pixeles

525000

760500

420200

Brillantez (ND)

Tabla 4. Matriz de error para la clasificación de los manglares Bahía Magdalena, imagen Landsat TM de 2005. EU = Exactitud del Usuario; EP = Exactitud del productor. Exactitud global = 93%, K' = 0.92

		Datos de Referencia							
			1a	1b	1c	2	3	Total	EU
u	1a. Manglar tipo matorral		30	2		1	2	35	85.7
ació	1b Bosque mixto			25	1			26	96.2
sific	1c. Bosque monoespecífico			1	26	1		28	92.9
Cla	2. Superficies acuáticas					30	1	31	96.8
	3. Otros		1				30	31	96.8
	Т	otal	31	28	27	32	33	151	
		EP	96.8	89.3	96.3	93.8	90.9		

Tabla 5. Cambios de extensión absoluta y relativa por tipo fisonómico de manglar y tasas de deforestación anualizadas (dn) en Bahía Magdalena-Bahía Almejas, BCS, estimados por medio de análisis digital de imágenes Landsat (1990 – 2005)

	1990		20	05	ganancia (+)/	δn
Clase	ha	%	ha	%	pérdida (-)	
1a) Manglar tipo matorral	6633	35.5	5250	30.8	-1384	-1.55
1b) Bosque mixto	9240	49.4	7605	44.6	-1635	-1.29
1c) Bosque monoespecífico	2832	15.1	4202	24.6	1370	2.67
Bosque (total)	12072	64.5	11807	63.2	-265	-0.15
Total	18705	100.0	17057	100.00	-1649	-0.55

Tabla 6. Matriz de cambio y valores de indicadores de estabilidad de la cobertura asociada al manglar del complejo lagunar Bahía Magdalena – Bahía Almejas, en el periodo 1990-2005, a partir del análisis digital de imágenes del satélite Landsat TM (1990 - 2005)

					1990				
								Total 20	005
			1a	1b	1c	2	3	(ha)	(%)
	1a Matorral		2725	1008	65	95	1355	5250	0.7
5	1b Bosque mi	xto	1084	5951	381	74	115	7605	1.1
00	<b>8</b> 1c Bosque monoespecífico		183	1692	2178	80	69	4202	0.6
7			568	411	197	129115	64	130355	18.0
	3 Otros		2073	177	11	0	574653	576914	79.6
	Total	(ha)	6633	9239	2832	129364	576256		
	1990	(%)	0.9	1.3	0.4	17.9	79.5		
	Est. Localización		41.1	64.4	76.9	99.8	99.7		
	Est. Residenci	ia	-20.9	-17.7	48.4	0.8	0.1		

Sin embargo, con base en la experiencia obtenida dentro del proyecto general, se ha podido corroborar que los resultados de la clasificación de imágenes corresponden de manera notable con la caracterización y clasificación derivada de registros obtenidos en campo, como es el caso del trabajo realizado por Monzalvo (2006) en Sinaloa.

En ese sentido y siguiendo procedimientos estándares tales como el enmascaramiento del área sujeta a análisis, se reducen las posibilidades de generar errores de comisión (asignación incorrecta de clasificación) y permite obtener altos niveles de exactitud en los mapas resultantes. Por otra parte, la similitud espectral que generalmente se presenta entre la vegetación en general y el manglar, se reduce en zonas áridas como es el caso de BM-BA donde es posible separar los manglares del resto de las clases espectrales. El nivel de exactitud obtenido también es resultado de la generalización de la clasificación, ya que al reducir el número de categorías a clasificar, la probabilidad de que esté correctamente clasificada se incrementa.

Lo anterior no implica que no sea posible obtener clasificaciones con alta confiabilidad para categorías más específicas, lo cual dependerá de la información adicional que se incorpore durante el proceso y para el presente caso en particular, se utilizaron máscaras que ayudaron a reducir la incertidumbre entre manglar y otras clases, además de utilizar valores del Índice Diferencial Normalizado de vegetación (NDVI), que permitieron eliminar información de escasa utilidad para el análisis. Al respecto, Wilson & Franklin (1992) demostraron que la incorporación de datos auxiliares como los modelos digitales de elevación en una clasificación de imágenes, puede resultar en un alto nivel de exactitud en la realización de mapas de coberturas terrestres. Resultados similares se han publicado en la clasificación de tipos fisonómicos de manglares en Belice usando imágenes Landsat TM (Murray et al. 2003). También De la Lanza et al. (1993) en un estudio realizado en la Laguna de Términos, encontraron una estrecha relación entre la respuesta espectral y las condiciones del manglar (especies dominantes, abundancia, altura) en el Golfo de México. Del análisis de estos autores se destaca la heterogeneidad en la distribución de las asociaciones de especies, en las que no se distingue ningún patrón, atribuyéndose el resultado a las condiciones ambientales, hidrológicas, climáticas generales y locales.

En consideración a lo anterior y teniendo como antecedente los trabajos de Carrera & de la Fuente (2003) y Ruiz-Luna et al. (2004), quienes han analizado la cobertura de manglar en la zona, los resultados aquí obtenidos confirman que la distribución reciente de la cobertura de manglar del complejo lagunar, tiene una extensión que se aproxima a 17000 ha. Las discrepancias en las estimaciones entre los autores citados y el presente estudio, pueden ser debidas tanto a la diferencia en la delimitación del área de estudio, y probablemente debido a procesos de deforestación puntual acaecidos entre estos estudios; considerando que las imágenes de Carrera y De la Fuente (2004) y Ruiz-Luna et al. (2004) tienen una diferencia de poco más de diez y cinco años, respectivamente, con relación al presente estudio.

Los resultados confirman la importancia de los manglares de Bahía Magdalena-Bahía Almejas, ya que junto con Marismas Nacionales (Nayarit-Sinaloa) y Bahía Santa María-La Reforma (Sinaloa), son los sistemas de mayor extensión en el noroeste de México y se ubican dentro de los más extensos en el Pacifico Americano. Por lo que definitivamente el complejo lagunar resultan un área de gran interés para su conservación. De acuerdo con estimaciones efectuadas en el presente estudio, la cobertura de manglar de este complejo lagunar representa al menos el 70% de los manglares de BCS, de ahí que se requiera de planes especiales de conservación y manejo que reduzcan el riesgo ambiental, ante el inminente crecimiento de la actividad pesquera, acuícola y turística en la región, contempladas en los planes estatales de desarrollo.

Con respecto al análisis de la estructura y las estimaciones de densidad realizadas en el presente estudio, tanto los resultados de matorral como bosque están dentro de los intervalos y patrones observados por Pool et al. (1977) para manglares de Sinaloa, con aproximadamente 25000 ind·ha<sup>-1</sup>. En Bahía Magdalena-Bahía Almejas se obtuvieron valores de hasta 30000 ind·ha<sup>-1</sup> en arbustos con dos o más especies y de cerca de 21000 ind·ha<sup>-1</sup> para arbustos monoespecíficos de manglar.

Por otra parte, a pesar de que la zona de estudio se caracteriza por presentar un clima cálido, seco extremoso, si bien con lluvias en verano, los estratos de manglar tipificados como mixto y monoespecífico, presentan características estructurales similares a las reportados por Monzalvo (2006) en Sinaloa, y en sistemas tan importantes como Santa María–La Reforma o la mayoría de los sistemas lagunares del centro y sur de Sinaloa, que en principio se ubican en zonas con condiciones más favorables para el desarrollo de esta cobertura vegetal.

De acuerdo con la propuesta de Pool et al. (1977), el valor de densidad más alto del estrato arbóreo en Bahía Magdalena-Almejas (bosque monoespecífico, 5922 ind·ha<sup>-1</sup>), correspondería a densidades de manglar de tipo borde; aunque esta clasificación, que además incluye al manglar de tipo cuenca, ribereño y sobrelavado, no fue adoptada en el presente estudio, optándose por una clasificación simplificada de las características fisonómicas de los manglares analizados.

Al respecto cabe destacarse que en la mayoría de los transectos realizados dentro del presente estudio, se estimaron valores elevados de área basal ( $41.3 \pm 8.8 \text{ m}^3$ ) que corresponderían a manglares de tipo ribereño, según la clasificación de Pool et al. (1977); es decir, al tipo de manglar con mayor desarrollo. Valores similares fueron únicamente encontrados en Bahía Santa María-La Reforma, Sinaloa (Monzalvo 2006), siendo, en general inferiores que los observados en la mayoría de los sistemas lagunares sinaloenses y la parte norte de Bahía Magdalena (Chávez-Rosales 2006). La presente investigación, se convierten en un importante indicador del estado actual de las poblaciones de manglar en el

norte de Bahía Magdalena, con un relativamente reducido impacto antropogénico, donde se encontraron individuos de *L. racemosa* con DAP de aproximadamente 45 cm (Fig. 3), donde se observan con frecuencia individuos de DAP similares.

Por lo que corresponde al análisis de variación temporal en la cobertura de la vegetación de manglar en Bahía Magadlena, se observó una ligera tendencia a la reducción, resultante del contraste de los mapas temáticos correspondientes a las fechas de 1990 y 2005. Al respecto es necesario reiterar que la valoración de la exactitud solo fue posible para la imagen de 2005 y que, dados los métodos empleados para la evaluación del manglar en la imagen de 1990, se asume un error de magnitud similar, es decir de aproximadamente el 10%. De esta manera las estimaciones de variación de la cobertura de manglar derivadas del presente análisis, aunque con un nivel de imprecisión propio de este tipo de estudios, se consideran indicadores adecuados de la condición actual del manglar en BM-BA.

De acuerdo con Adeel & Pomery (2002), las tasas de deforestación de los manglares del mundo alcanzan valores de 2 al 8% anual. En México, a nivel nacional se han registrado tasas de deforestación anual media de aproximadamente 5% (López-Portillo & Ezcurra 2002), mientras que a nivel de sistemas específicos, la tasa de deforestación media anual se sitúa entre 0.2 y 2.4% (Pérez & Pérez 1991, Pantoja et al. 1991, Ramírez-García et al. 1998, Ruiz-Luna & Berlanga-Robles 1999, Berlanga-Robles & Ruiz-Luna 2002, Acosta-Velázquez 2003). De esta manera y en contraste con dichas estimaciones, las tasas de deforestación estimadas dentro del presente estudio, se sitúan en un nivel de deforestación moderado de aproximadamente 0.55% anual. Este valor pudiera ser modificado ligeramente por el nivel de incertidumbre resultante de las clasificaciones. Este resultado está influenciado por la pérdida estimada para el manglar tipo matorral, puesto que considerando únicamente al estrato arbóreo, la tasa de deforestación se reduce hasta 0.15% anual. En general, el manglar de tipo matorral puede caracterizarse como el estrato con mayor dinámica espacial, como consecuencia de una mayor dependencia de las variaciones ambientales (salinidad e hidroperiodo), generadas por causas naturales o por el efecto de actividades humanas en su proximidad. Sin embargo, debido a que no se cuenta con información de campo para corroborar los resultados de la clasificación en 1990, la transición de manglar tipo matorral a bosque, pudiera ser resultado de los métodos de clasificación y de la fenología de los sistemas de manglar. Existe escasa información publicada sobre la variabilidad natural de la cobertura de manglares, es decir, si los manglares se contraen y se expanden en concordancia con cambios climáticos anuales. Casas-Monroy (2000) señaló que existe una tendencia positiva en los manglares de Cienaga Grande de Santa Marta, Colombia con tasas de recuperación de 11.95  $\rm km^2$ año $^{-1}$  de 1995 a 1997 y de 19.83 km² año-1 de 1997 a 1999, siendo la tasa de recuperación natural considerablemente mayor a la observada en el presente estudio. El mismo autor indica que otros sitios



Fig. 3. Joanna Acosta-Velázquez realizando la medición de un individuo de *Laguncularia racemosa*, con DAP >45 cm, en Bahía Magdalena, BCS

de Colombia, tienen tasas relativamente elevadas de regeneración natural, sin embargo, lo atribuye a la recuperación de follaje en árboles que originalmente se presumían muertos. Una situación análoga es la que aquí se considera para explicar el crecimiento de bosque para fechas recientes, donde probablemente se presentó un mejoramiento en la calidad del follaje en regiones específicas debido a condiciones naturales, que se reflejan como cambios en la respuesta espectral.

En los manglares del sistema lagunar Bahía Magdalena–Bahía Almejas existe una dinámica que favorece el desarrollo de comunidades, cuya firma espectral corresponde a los manglares con mejor condición biológica. Sin embargo, debido a la ausencia de información que permita corroborar la presunción de que es debido a cambios fenológicos, mas que por recolonización, se considera que este debe ser investigado en el futuro, para explicar hasta que punto la variabilidad de los estratos de manglar se debe a efectos del error metodológico o como respuestas natural a cambios en las condiciones ambientales.

Por lo anterior es importante asumir que independientemente de las causas, se han detectado cambios en los distintos estratos de manglar del complejo lagunar, que sin duda, pueden tener repercusión sobre el manglar en su conjunto. A pesar de que en la actualidad, no representan un impacto importante en términos de número y extensión, el crecimiento de los asentamientos humanos asociados con los aprovechamientos pesqueros (sardinas, almeja, jaiba y camarón) y el de los sistemas de cultivo de especies comerciales (cultivos extensivos de camarón), están aumentando la presión ambiental sobre los manglares, tanto por la diversidad de usos que de ellos se hace (leña, vertederos de residuos sólidos, extracción de recursos pesqueros). Entre otros, como sería el impacto indirecto derivado de la contaminación, los cambios en los patrones hidrológicos y en los usos de suelo en localidades advacentes. Un estudio reciente estudia aspectos ecológicos de los manglares de la parte norte de Bahía Magdalena incluyendo un análisis de su fauna de peces y crustáceos y modelando el flujo energético de este sistema de manglar, al resto de la bahía (Chávez-Rosales 2006).

Finalmente, los resultados del presente trabajo ponen de manifiesto la importancia de la percepción remota como herramienta para dar continuidad a la evaluación y seguimiento de la situación de los humedales costeros, ya que independientemente de las causas o mecanismos de respuesta de los manglares, permite evaluar relativamente rápido y a relativamente bajos costos de operación, los cambios de cobertura, condición de los manglares, además de otros ecosistemas costeros. A pesar de ello, es necesario establecer un mecanismo de adquisición periódica de información que permita identificar y discernir el origen de los cambios, de modo que mejore nuestra comprensión de los sistemas y se permita la generación de estrategias de manejo, con criterios acordes con la dinámica de estos ambientes naturales para asegurar su conservación y aprovechamiento sustentable a largo plazo.

#### CONCLUSIONES

Bajo las consideraciones anteriores el presente trabajo confirma que el análisis digital de imágenes de satélite con suficiente resolución espectral y espacial, en conjunto con calibraciones de trabajo de campo, constituye en una herramienta económica y eficiente para realizar inventarios de cobertura de los manglares y dar seguimiento a los posibles cambios de la condición, estructura y extensión de los mismos en zonas extensas, como es el caso de la zona costera de Baja California Sur.

Los manglares del sistema lagunar Bahía Magdalena-Bahía Almejas, presentan una dinámica que ha favorecido el desarrollo de comunidades, cuya firma espectral corresponde a los manglares con mejor condición biológica. Sin embargo, aunque existe un proceso general de deforestación actualmente moderado del estrato arbustivo, los cambios estructurales y de extensión geográfica pueden tener un efecto inmediato sobre el manglar en su conjunto.

El proceso de cambo de cobertura y composición de especies puede ser debido a causas naturales. Sin embargo, aunque en términos de número y extensión, el crecimiento de asentamientos humanos asociados en la bahía es relativamente reducido, la presión ambiental sobre los manglares pudiera tender a aumentar, tanto por la diversidad de usos que de ellos se hace (leña, depósito de basura, extracción de recursos pesqueros), como por los posibles impactos de contaminación, cambios de los patrones hidrológicos y de usos de suelo en localidades adyacentes. Conclusiones y recomendaciones similares fueron realizados en un estudio reciente de relativamente menor cobertura geográfica al norte de Bahía Magdalena (Chávez-Rosales 2006).

Se debe resaltar la importancia del análisis llevado a cabo en el presente estudio, debido a que la clasificación de diversos estratos o tipos permite una mejor visualización de la condición de la comunidad de manglar y, al mismo tiempo, facilita la elaboración de programas tendientes a la conservación y el manejo de estos recursos.

Por lo anterior es recomendable que a la brevedad se establezcan lineamientos adecuados de conservación y manejo que permita mantener y preservar indefinidamente, la calidad evidente de los manglares de Bahía Magdalena-Almejas. Al respecto, la Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad en México (CONABIO) sugiere otorgar un estatus específico de protección para la zona de manglar, independientemente de la existencia de la Norma Oficial Mexicana de protección a los manglares (NOM-022), que al parecer, hasta ahora no presenta un notable impacto humano en Bahía Magdalena y Bahía Almejas.

*Agradecimientos.* La realización del presente estudio se hizo gracias al apoyo de la SEMARNAT y CONACYT con el financiamiento al proyecto SEMARNAT-2002-C01-0044/A-1. Un reconocimiento al programa Global Land Cover Facility (http://glcf.umiacs.umd.edu/index.shtml), a través del cual fue posible contar con la imagen Landsat de 1990. Los autores desean agradecer los valiosos comentarios de G Bocco y S Sánchez-Carrillo, además de otros revisores anónimos, por sus comentarios y observaciones que permitieron el enriquecimiento del presente trabajo. *In memoriam.* Los autores de este trabajo se unen al reconocimiento que otros colaboradores de la presente obra hacen a la memoria del Dr. Samuel Gómez Aguirre, entrañable profesor y amigo.

#### LITERATURA CITADA

- Acosta-Velázquez J (2003) Análisis de la condición del bosque de manglar en el Sistema Lagunar Teacapán-Agua Brava-Marismas Nacionales y sus relaciones a nivel de paisaje. Tesis de Maestría. Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, A.C. Mazatlán, Sinaloa, México
- Adeel Z, Pomeroy R (2002) Assessment and management of mangrove ecosystems in developing countries. Trees 16:235-238
- Alongi DM (2002) Present state and future of the world's mangrove forests. Environ Conserv 29:331-349
- Alonso-Pérez F, Ruiz-Luna A, Turner J, Berlanga-Robles CA, Mitchelson-Jacob G (2003) Land cover changes and impact of shrimp aquaculture on the landscape in the Ceuta coastal lagoon system, Sinaloa, Mexico. Ocean Coast Manag. 46:583-600
- Arriaga L, Aguilar V, Alcocer J (2002) Aguas continentales y diversidad biológica de México. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. Ciudad de México
- Berlanga-Robles CA, Ruiz-Luna, A (2002) Land-use mapping and change detection in the coastal zone of northwest Mexico using remote sensing techniques. J Coast Res 18:514-522
- Campbell JB (1996) Introduction to remote sensing. Segunda edición, Taylor & Francis, Londres
- Carrera-González E, de la Fuente de León G (2003) Inventario y clasificación de humedales de México. Parte 1. Ducks Unlimited de México A.C. México
- Carta Nacional Pesquera (2004) Diario Oficial de la Federación, Ciudad de México, 15 de marzo de 2004
- Chávez-Rosales S (2006) El papel de los manglares en la producción de las comunidades acuáticas de Bahía Magdalena, B.C.S. Tesis de Doctorado. Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas, La Paz, Baja California Sur, México
- Cintron G, Schaeffer Y (1984) Methods for studying mangrove structure. En: Snedaker, SC y Snedaker JG (eds), The mangrove ecosystem: research methods. UNESCO. Paris, p 91-113
- Congalton RG, Green K (1999) Assessing the accuracy of remotely sensed data: Principles and practices. Lewis Publishers. Florida.

- Dahdouh-Guebas F (2002) The use of remote sensing and GIS in the sustainable management of tropical ecosystems. Environ Develop Sustain 4:93-112
- Danielsen F, Serensen MK, Olwig MF, Selvam V, Parish F, Burgess ND, Hiraishi T, Karunagaran VM, Rasmussen MS, Hansen LB, Quarto A, Suryadiputra N (2005) The Asian tsunami: A protective role for coastal vegetation. Science 310:643
- De la Lanza G, Ramírez-García P, Thomas Y-F, Alcántara AR (1993) La vegetación de manglar en la laguna de Términos, Campeche evaluación preliminar a través de imágenes Landsat. Hidrobiológica 3:29-39
- De la Lanza G, Sánchez N, Sorani V, Bojórquez JL (1996) Características geológicas, hidrológicas y del manglar en la planicie costera de Nayarit, México. Invest Geog Bol 32:33-54
- Eastman JR, McKendry JE, Fulk MA (1995). Change and time series analysis. United Nations Institute for Training Research/GRID, Geneve, Swiss
- Field CD (1999) Charter for mangroves. En: Yañéz-Arancibia A, Lara-Domínguez AL (eds) Ecosistemas de manglar en América tropical. Instituto de Ecología, A.C. México. UICN/ HORMA, Costa Rica, NOAA/NMFS Silver Spring MD USA, p 5-8
- Green EP, Mumby PJ, Edwards AJ, Clark CD, Ellis AC (1997) Estimating leaf area index of mangrove from satellite data. Aquat Bot 58:11-19
- Green EP, Clark CD, Mumby PJ, Edwards AJ, Ellis AC (1998). Remote sensing techniques for mangrove mapping. Int J Remote Sens 19:935-956
- Green EP, Mumby PJ, Edwards AJ, Clark CD (2000) Remote sensing handbook for tropical coastal management. UNESCO Publishing, Paris
- Hernández-Cornejo R, Ruiz-Luna A (2000) Development of shrimp farming in the coastal zone of southern Sinaloa (Mexico): operating characteristics, environmental issues, and perspectives. Ocean Coast Manag 43:597-607
- Hernández-Cornejo R, Koedam N, Ruiz-Luna R, Troell M, Dahdouh-Guebas F (2005) Remote sensing and ethnobotanical assessment of the mangrove forest changes in the Navachiste-San Ignacio-Macapule lagoon complex, Sinaloa, Mexico. Ecology and Society 10(1):16. http:// www.ecologyandsociety.org/vol10/iss1/art16/
- Jensen JR, Cowen DJ, Althausen JD, Narumalani S, Weatherrbee O (1998) An evaluation of coast watch change detection protocol in South Carolina. En: Lunetta RS y Elvidge CD (eds), Remote sensing change detection: Environmental monitoring methods and applications. Ann Arbor Press, USA, p 75-88
- Kovacs JM, Wang J, Blanco-Correa M (2001) Mapping disturbance in a mangrove forest using multi-date Landsat TM imagery. Environ Manage 27:763-776
- Kovacs JM, Flores F, Wang J, Aspden LP (2004). Estimating leaf area index of a degraded mangrove forest using high spatial resolution satellite imagery. Aquatic Botany 80:13-22
- Landis J, Koch G (1977) The measurements of observer agreements for categorical data. Biometrics 33:159-174
- López-Portillo J, Excurra E (2002) Los manglares de México: una revisión. Madera y bosques. Número especial:27-51
- Lugo AE, Snedaker SC (1974) The ecology of mangroves. Annu Rev Ecol Syst 5:39–64
- Lugo AE, Patterson-Zucca C (1977) The impact of low temperature stress on mangrove structure and growth. J Trop Ecol 18:149-161
- Mas JF (1999) Monitoring land-cover changes: a comparison of change detection techniques. Inter J Remote Sens 20:139-152

- Monroy-Casas O (2001) Estado de los manglares en Colombia Año 2000. En: Santos A.M. (ed), Informe del estado de los ambientes marinos y costeros en Colombia: Año 2000. Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras (INVEMAR). Programa Calidad Ambiental Marina (CAM), p 45-65
- Monzalvo SKI (2006) Estimación de la cobertura espacial y análisis de la estructura forestal del manglar en Sinaloa, México, aplicando técnica de percepción remota. Tesis de Maestría. Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, UNAM. México
- Murray MR, Zisman SA, Furley PA, Munro DM, Gibson J, Ratter J, Bridgewater S, Minty CD, Place CJ (2003) The mangroves of Belize part 1. Distribution, composition, and classification. Forest Ecol Manage 174:265-279
- Palacio-Prieto JL, Sánchez-Salazar MT, Casado IJM, Propin FE, Delgado CJ, Velázquez, MLA, Chias B, Ortiz AMI, González SJ, Negrete FG, Gabriel MJ, Márquez HR (2004) Indicadores para la caracterización y el ordenamiento territorial. Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales, Instituto Nacional de Ecología, Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Geografía y Secretaría de Desarrollo Social, México
- Pantoja IN, Callejas OM, Martínez BT, Zaragoza HF, Olvera MAD, García BC (1991) Marismas Nacionales: Evaluación de cambios por medio de imágenes de satélite. Instituto Nacional de Geografía e Informática, Reporte Técnico INEGI/DGG/STDF, México
- Pérez CMS, Pérez GMR (1991) Evaluación de los manglares de Celestún con imágenes TM. Instituto Nacional de Geografía en Informática. Reporte Técnico, INEGI/DGG/STDG, México
- Pool DJ, Snedaker SC, Lugo AE (1977) Structure of mangrove forests in Florida, Puerto Rico, Mexico, and Costa Rica. Biotropica 9:195-212
- Primavera JH (2005) Mangroves, fishponds, and the quest for sustainability. Science 310: 57-59
- Ramírez-García P, López-Blanco J, Ocaña D (1998) Mangrove vegetation assessment in the Santiago river mouth, Mexico by means of supervised classification using Landsat TM imagery. Forest Ecol Manag 105:217-229
- Ramsey III EW, Jensen JR (1996) Remote sensing of mangrove wetlands: relating canopy spectra to site-specific data. Photogramm Eng Remote Sens 62:939-948
- Ramsey III EW, Nelson GA, Sapkota SK (2001) Coastal change analysis Program implemented in Louisiana. J Coast Res 17(1):53-71
- Richards JA, Jia X (1999) Remote sensing digital image analysis. An introduction. Tercera edición. Springer. Berlin
- Rodelli MR, Gearing JN, Gearing PJ, Marshall N, Sasekumar A (1984) Stable isotope ratio as a tracer of mangrove carbon in Malaysian ecosystems. Oecologia 61:326–333
- Ruiz LA, Berlanga RCA (1999). Modifications in coverage patterns land use in the landscape around the Huizache-Caimanero lagoon system, Sinaloa, México: A multitemporal analysis using Landsat images. Est Coast Shelf Sci 49:37-44
- Ruiz-Luna A, Acosta-Velázquez J, Flores-Verdugo F, Berlanga-Robles CA, Trelles RNA, Monzalvo K (2004) Aplicación de técnicas de percepción remota para el análisis de la distribución, extensión y estructura de sistemas de manglar en Baja California Sur, México. En: SELPER (eds) XI Simposio latinoamericano sobre percepción remota y sistemas de información espacial, Santiago, Chile, 10 p
- Ruiz-Luna A, Acosta-Velázquez J, Berlanga-Robles CA (en prensa) On the reliability of the data of the extent of mangroves; a case study in Mexico. Ocean Coast Manag. doi:10.1016/j.ocecoaman.2007.08.004
- Saenger P, Hegerl EJ, Davie JDS (1983) Global status of mangrove ecosystems. The Environmentalist 3(Supplement):1-88

- Singh A (1989) Digital change detection techniques using remotely-sensed data. Int J Remote Sens 10:989-1003
- Spalding M, Blasco F, Field C (1997) World mangrove atlas. The International Society for Mangrove Ecosystems, Okinawa, Japan
- Syed A, Hussin YA, Weir MJC (2001) Detecting fragmented mangroves in the Sundarbans, Banglades using optical and radar satellite images. En: Proceedings of the 22<sup>nd</sup> Asian Conference on Remote Sensing ACRS, Singapore, p 573-578
- Tomlinson PB (1986) The botany of mangroves. Cambridge Tropical Biology Series, Cambridge University Press, Cambridge
- Valdez JI (2002) Aprovechamiento forestal de manglares en el estado de Nayarit, costa Pacífica de México. Madera y Bosques, Número especial:129-145
- Valiela I., Bowen JL, York JK (2001) Mangrove forests: one of the world's threatened major tropical environments. BioScience 51:807-815
- Waisel Y (1972) The biology of halophytes. Academic Press, New York, NY
- Wilson BA, Franklin SE (1992) Characterization of alpine vegetation cover using satellite remote sensing in the front ranges, St. Elias Mountains, Yukon Territory, Global Ecol Biogeogr 2:90–95

Acosta–Velázquez J, Ruíz–Luna A (2007) Variación en la cobertura, distribución y estructura de los manglares del complejo lagunar Bahía Magdalena-Bahía Almejas (1990-2005). En: Funes-Rodríguez R, Gómez-Gutiérrez J, Palomares-García R (eds) Estudios ecológicos en Bahía Magdalena. CICIMAR-IPN, La Paz, Baja California Sur, México, p 127-141

# Sección III

# **Plancton**

## Dinoflagelados (Dinophyceae) del sistema lagunar Magdalena-Almejas

## Ismael Gárate–Lizárraga<sup>1</sup>, Christine Johanna Band–Schmidt<sup>1</sup>, Gerardo Verdugo– Díaz<sup>1</sup>, María del Socorro Muñetón–Gómez<sup>1,2</sup>, Esteban Fernando Félix–Pico<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas, Instituto Politécnico Nacional, Av. IPN s/n. Col Playa Palo de Sta. Rita, AP. 592, La Paz, 23096, Baja California Sur <sup>2</sup> Centro de Estudios Tecnológicos del Mar 04. Av. IPN y calle Cetmar s/n, Col. Playa Palo de Sta. Rita, AP. 585, La Paz, 23096 Baja California Sur

RESUMEN: El presente estudio es un inventario comentado de los dinoflagelados del sistema lagunar Magdalena-Almejas y la parte norte del sistema en el estero Santo Domingo, dentro de los periodos comprendidos entre 1980-1989 y 2005-2006. En este sistema se han encontrado un total de 168 especies y taxa infraespecíficos de dinoflagelados comprendidos en 6 órdenes, 23 familias y 41 géneros. Del total de especies identificadas, 27 son dinoflagelados desnudos y 141 son tecados. Los géneros mejor representados fueron Ceratium, Protoperidinium y Dinophysis con 46, 25 y 15 especies, respectivamente. Se encontraron un total de 63 nuevos registros de especies de dinoflagelados para este sistema lagunar, de los cuales, seis son registradas por primera ocasión para el Pacífico Mexicano: Amphidoma caudata, Amphidoma sp., Dinophysis odiosa, Metaphalacroma skogsbergii, Nematodinium armatum y Protoperidinium turbinatum. Se reportan especies potencialmente productoras de toxinas diarreicas, hemolíticas y paralizantes tales como Gambierdiscus toxicus, Prorocentrum rhathymum, Prorocentrum lima, Alexandrium tamiyavanichii y Gymnodinium catenatum. Así mismo, se han registrado florecimientos de Noctiluca scintillans, Prorocentrum triestinum y Prorocentrum micans. Se informa sobre la distribución de las especies de dinoflagelados en el Pacífico Mexicano, indicando si son especies formadoras de florecimientos y/o especies potencialmente tóxicas. No se encontraron toxinas paralizantes en la almeja pata de mula (Anadara tuberculosa).

PALABRAS CLAVE: Lista florística · Dinoflagelados · Florecimientos algales nocivos· Toxinas

ABSTRACT: An annotated checklist of dinoflagellates from the Magdalena-Almejas lagoon system and the outer part of Santo Domingo estuary collected in the periods of 1980-1988 and 2005-2006 was done. A total of 168 species and of infraspecific taxa of dinoflagellates from 6 orders, 23 families, and 41 genera were recorded. Of these, 27 are naked dinoflagellates and 141 are thecate. The most represented genera were *Ceratium, Protoperidinium*, and *Dinophysis* with 46, 25, and 15 species, respectively. A total of 63 new records of dinoflagellates species were registered for this lagoon system from which, six species are recorded for the first time for the Mexican Pacific: *Amphidoma caudata, Amphidoma* sp., *Dinophysis odiosa, Metaphalacroma skogsbergii, Nematodinium armatum* y *Protoperidinium, turbinatum*. Potentially diarrheic toxin-producers species such as *Gambierdiscus toxicus, Prorocentrum lima*, and *Prorocentrum triestinum and Prorocentrum micans* occurred in this lagoon system. Information on the distribution of the dinoflagellates species is given for the Mexican Pacific, with emphasis in species on bloom-forming and potentially toxic species. No paralytic toxins were detected in the black ark clams (*Anadara tuberculosa*).

KEYWORDS: Checklist · Dinoflagellates · Harmful algae blooms · Toxins

#### INTRODUCCIÓN

La composición taxonómica del fitoplancton en el sistema lagunar Magdalena-Almejas está conformada principalmente por diatomeas y dinoflagelados y en menor proporción por cianobacterias, silicoflagelados y cocolitofóridos. Seguido de las diatomeas, los dinoflagelados son los organismos más comunes del fitoplancton marino. Los dinoflagelados son más abundantes en aguas oceánicas que en aguas costeras, siendo más frecuentes y diversos en aguas cálidas. Constituyen un grupo exitoso de microorganismos adaptados a hábitats pelágicos y bentónicos, con un gran número de especies de amplia distribución. Actualmente se conocen alrededor de 4,000 especies de dinoflagelados (Sournia et al. 1991, Hallegraeff 2003).

Los dinoflagelados tecados son organismos eucariontes que consisten de una epiteca y una hipoteca, un surco transversal llamado (cingulum) y un surco longitudinal (sulcus). En los dinoflagelados desnudos la parte superior se denomina epicono y la inferior hipocono. Presentan dos flagelos que le permiten al organismo propulsarse a velocidades por arriba de los 370 mm/s<sup>-1</sup> (Spector 1984). Aproximadamente la mitad de los dinoflagelados poseen cloroplastos, organelos con los que pueden llevar a cabo la fotosíntesis y realizar nutrición autótrofa. El resto de los dinoflagelados que carecen de cloroplastos incorporan materia orgánica en suspensión o fagocitan bacterias u otros flagelados, siendo claramente fagotróficos o saprotróficos (Gaines & Elbrachter 1987). Incluso existen especies que son parásitas (Chatton 1912, 1952). Sus características morfológicas y requerimientos nutritivos los hacen exitosos desde el punto de vista reproductivo y de crecimiento en aguas tropicales, donde la estabilidad en la columna de agua es mayor y la concentración de nutrientes es relativamente más baja. La presencia de algunas especies de dinoflagelados en zonas costeras es de singular importancia, ya que en condiciones ambientales favorables, sus tasas de crecimiento poblacional son tan altas que desarrollan grandes densidades, lo cual se conoce como florecimiento. Este hecho causa cambios en la coloración del agua de mar, fenómeno conocido en algunas ocasiones como marea roja o florecimientos algales nocivos (FAN) (Margalef 1977, Taylor 1976). Estas altas densidades provocan un

cambio en la coloración de las capas superficiales del mar, el cual puede ser amarillo, naranja, pardo, rojo, de acuerdo a la pigmentación del organismo que predomine. Algunas especies de dinoflagelados son capaces de producir toxinas y pueden pasar a los moluscos y peces que se alimentan de ellas, acumulándose en sus diferentes órganos.

La dinámica de los FAN presenta una gran heterogeneidad entre los factores que la controlan. Existe una fuerte interacción entre los ciclos de vida de las especies involucradas, con el ambiente físico, químico y biológico, los cuales tienen efectos determinantes en la duración y recurrencia de los florecimientos (Garcés et al. 2001). Aunado a esto, varias especies formadoras de florecimientos presentan ciclos de vida complejos con diferencias morfológicas y fisiológicas (e.g., Pfiesteria piscicida, Phaeocystis spp.) (Montresor 2001). Asimismo, se ha reconocido que diferentes estadios del ciclo de vida de dinoflagelados juegan un papel importante en el inicio, duración y término de las floraciones algales (Montresor 2001). El ciclo de vida de los dinoflagelados y el efecto de factores ambientales sobre los diferentes estadios pueden explicar su presencia estacional en la columna de aqua.

El ciclo de vida de los dinoflagelados generalmente involucra una alternancia entre la reproducción asexual y sexual (Blackburn et al. 1989, Wyatt & Jenkinson 1997, Anderson 1998, Bolch et al. 2001, Rengefors 2001, Band-Schmidt et al. 2004) (Fig. 1). Divisiones repetidas dan lugar a una proliferación de células vegetativas móviles. Este proceso asexual termina cuando se induce la reproducción sexual. La sexualidad inicia una vez que se forman los gametos y se fusionan dando lugar a cigotos



Fig. 1. Ciclo de vida de Gymnodinium catenatum en condiciones de cultivo

móviles (planocigotos) que pasan a un estado de reposo denominado quistes o hipnocigotos (Anderson 1998, Bolch et al. 2001). Los quistes representan un estado de latencia durante el ciclo de vida, y se cree que su formación es un mecanismo de protección a condiciones desfavorables del medio, tales como disminución de nutrientes, temperatura, salinidad, pastoreo, bacterias, competencia y turbulencia (Prakash 1967, Steidinger 1975, Anderson & Wall 1978, Dale 1983, Anderson 1998, Adachi et al. 1999). Cuando las condiciones favorables se restablecen, los quistes reinician la fase vegetativa recuperándose la densidad poblacional después de algunos días, durante el inicio y mantenimiento de un florecimiento (Anderson 1998, Garcés 2001). Los quistes generalmente presentan un periodo de maduración donde las actividades metabólicas se reducen (Dale 1983, Head 1996). La duración del periodo de germinación es variable, fluctuando desde 12 h hasta varios meses, y está controlada principalmente por procesos fisiológicos modulados por factores exógenos y endógenos (Anderson & Keafer 1987, Anderson et al. 1987). En México se han realizado estudios sobre los ciclos de vida de algunos dinoflagelados. La figura 1 muestra una representación esquemática del ciclo de vida del dinoflagelado tóxico Gymnodinium catenatum obtenido en aislamientos de Bahía Concepción.

De acuerdo con la lista de referencia de algas planctónicas tóxicas del IOC (Intergovernmental Oceanographic Commission of UNESCO), se tiene registro que aproximadamente 98 especies del fitoplancton, excluyendo cianobacterias, pueden producir toxinas. De éstas, 70 son dinoflagelados, 12 diatomeas, 9 haptofíceas y 7 raphydofíceas (Moestrup 2006). Las toxinas cuando son acumuladas por sus consumidores los hacen tóxicos. Estas toxinas son acumuladas principalmente por moluscos bivalvos, los cuales constituyen una importante fuente de recursos en este sistema lagunar. Existen toxinas que son ictiotóxicas que pueden afectar a diversas especies de peces de importancia comercial, con el consiguiente peligro para la acuicultura o la pesca (Baqueiro-Cárdenas et al. 1982). En la tabla 1 se presentan los principales tipos de toxinas en dinoflagelados y las principales especies que las producen. El objetivo del presente capítulo es realizar un inventario taxonómico comprensivo y actualizado de los dinoflagelados en el sistema lagunar Magdalena-Almejas. En este inventario se presentan fotografías de las especies más frecuentes o bien de aquellas que representen alguna dificultad particular para su identificación en investigaciones futuras en este sistema lagunar.

#### **MATERIALES Y MÉTODOS**

La información utilizada para la realización de este trabajo se ha compilado de las siguientes publicaciones: Nienhuis & Guerrero (1985, 1986), Gárate-Lizárraga (1992), Verdugo-Díaz (1993), Gárate-Lizárraga & Siqueiros-Beltrones (1998), Gárate-Lizárraga et al. (2000), Cohen-Fernández (2000), Gárate-Lizárraga & Verdugo-Díaz (2001), Gárate-Lizárraga et al. (2001a) y Okolodkov & Gárate-Lizárraga (2006). Asimismo, en este estudio se incluyen especies determinadas en muestreos recientes o que no han sido publicadas. Los primeros muestreos en el sistema lagunar Magdalena-Almejas se llevaron a cabo desde 1980 hasta 1988 en una red de 28 estaciones de muestreo (Fig. 2). Además de incluir muestreos realizados durante dos ciclos de 24 horas llevados a cabo en la estación L1, adyacente a la boca de Bahía Magdalena (Fig. 2), durante muestreos realizados del 10 al 11 y del 23 al 24 de febrero de 1989.

Las muestras de fitoplancton se recolectaron mediante botellas van Dorn y mediante arrastres horizontales de aproximadamente 5 minutos, utilizando una red de 54  $\mu$ m de luz de malla. La fijación de las muestras se hizo principalmente utilizando formol al 5% neutralizado con borato de sodio. El material biológico obtenido recientemente (2005-2006) fue utilizando una red de 20  $\mu$ m de luz de malla, una primera alícuota fue fijada con formol al 5 % neutralizado con borato de sodio y una segunda alícuota se fijó con Lugol (Hasle 1978), lo cual ha permitido la identificación de algunas especies de dinoflagelados desnudos, ahora nuevos registros. En algunos casos se realizaron observaciones de muestras en vivo recientemente recolectadas.

Durante un ciclo anual (mayo 2005-mayo 2006) se realizaron muestreos mensuales de fitoplancton con el objetivo de encontrar especies productoras de toxinas paralizantes, así mismo se recolectaron 20 ejemplares de pata de mula Anadara tuberculosa Sowerby 1833, para cuantificar toxinas paralizantes en estos moluscos. Las toxinas paralizantes se analizaron mediante la metodología propuesta por Hummert et al. (1997) y Yu et al. (1998). Muestras aisladas fueron tomadas en dos ocasiones en noviembre (4-6) y en diciembre del 2006 (6 y 16) cerca de Puerto A. López Mateos (estación E) (Fig. 2). Las muestras de fitoplancton fueron analizadas utilizando un microscopio de contraste de fases Carl Zeiss, utilizando preparaciones frescas. La identificación de las especies de dinoflagelados se hizo consultando los trabajos de Kofoid & Swezy (1921), Kofoid & Skogsberg (1928), Schiller (1933, 1937), Sournia (1968), Taylor (1976), Dodge (1982, 1985), Balech (1988), Fukuyo et al. (1990) y Steidinger & Tangen (1996). Las especies no registradas en publicaciones previas son indicadas como "este estudio" y, se enfatiza si estas especies son consideradas como formadoras de florecimientos algales y/o productoras de toxinas. La distribución de las especies de dinoflagelados en el Pacífico Mexicano se puede consultar el trabajo realizado por Okolodkov & Gárate-Lizárraga (2006). Asimismo, se menciona la distribución de aquellas especies registradas por Kofoid & Skogsberg (1928) en aguas mexicanas. Las imágenes que aparecen en las diferentes láminas se tomaron en un microscopio Olympus CK2 (Japón), mediante una cámara digital integrada CCD-Pro-series y el procesador de imágenes Image-Pro-express y con una cámara fotográfica SONY Cyber-shot de 6.0 megapixeles.

Tabla 1.- Principales tipos de envenenamientos producidos por dinoflagelados tóxicos, sintomatología y especies responsables: Modificada de Hallegraeff (2003) y Hernández-Orozco & Gárate-Lizárraga (2006). \*Registros en el Pacífico Mexicano. \*\* Registros en el sistema lagunar Magdalena-Almejas

Tipo de toxinas y de envenenamientos	Síntomas generales	Especies responsables		
PARALIZANTES Envenenamiento paralizante por consumo de moluscos (EPM; PSP).	Sensación de hormigueo, entumecimiento de cara cuello, manos, náuseas, vómito y muerte por paro respiratorio.	Gymnodinium catenatum (*,**) Alexandrium acatenella (*) Alexandrium catenella (*) Alexandrium minutum (*) Alexandrium tamarensis (*) Alexandrium tamiyavanichii (*,**) Pyrodinium bahamense v. compressa (*)		
DIARREICAS Envenenamiento diarreico por consumo de moluscos Abrev: (EDM; DSP).	Diarrea, náuseas, vómito y la exposición crónica promueve la formación de tumores en el sistema digestivo.	Dinophysis acuminata (*,**) Dinophysis acuta (*) Dinophysis caudata (*,**) Dinophysis norvegica (*) Dinophysis fortii (*,**) Dinophysis sacculus (*) Dinophysis miles (*) Dinophysis mitra (*,**) Dinophysis rapa (*) Dinophysis tripos ? (*,**) Prorocentrum belizeaum (*,**)		
NEUROTÓXICAS Envenenamiento neurotóxico Abrev: (EN; NP).	Escalofríos, dolor de cabeza, debilidad muscular, náuseas, vómito y muerte por paro respiratorio.	Karenia brevis (*)		
CIGUÁTERICAS Envenenamiento ciguatérico por consumo de pescado Abrev: (ECP; CFP)	Náuseas, entumecimiento y temblor de las manos y los pies, vómito y en casos extremos, muerte por fallas respiratorias.	Gambierdiscus toxicus (*, **) Ostreopsis spp (*) Coolia spp (*)		
AZASPARÁCIDOS Envenenamiento azaspirácido por consumo de moluscos Abrev: (EAM; AZP)	Efectos no conocidos en humanos.	Protoceratium reticulatum (*. **)		

Las especies y sus autoridades nomenclaturales, así como la fecha de descripción se arreglaron alfabéticamente dentro de cada género, como dentro de cada familia. En este estudio se siguió la clasificación de Sournia et al. (1991), la cual fue actualizada de acuerdo con los trabajos publicados recientemente y que aparecen referidos en la tabla 2, donde se detallan aspectos ecológicos y toxicológicos de los taxa que son poco comunes o bien, son registrados como tóxicos o formadores de florecimientos algales en otras partes del mundo.

### **RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

Las diatomeas y los dinoflagelados son los grupos taxonómicos del fitoplancton más estudiados en aguas del Pacífico Mexicano (Gárate-Lizárraga & Siqueiros-Beltrones 1998, Gárate-Lizárraga & Verdugo Díaz 2001, Hernández-Becerril et al. 2003, Meave del Castillo et al. 2003). Del grupo de dinoflagelados se conocen aproximadamente 605 especies y taxones infraespecíficos de dinoflagelados principalmente de vida libre comprendidos en 91 géneros (Okolodkov & Gárate-


Fig. 2. Plan de estaciones de muestreo en el sistema lagunar Magdalena-Almejas. ■Muestreos diurnos realizados el 10, 11, 23 y 24 de febrero de 1989. ● Sitio de extracción de moluscos bivalvos y muestras de fitoplancton durante un ciclo anual (2005 - 2006)

Lizárraga 2006). En el sistema lagunar Magdalena-Almejas la composición taxonómica del fitoplancton y la dominancia relativa de las diferentes especies de los grupos fitoplanctónicos presentan cambios continuos y/ o estacionales marcados. La variación anual de la abundancia fitoplanctónica para el sistema lagunar, presenta un comportamiento similar al ciclo anual de producción de otras lagunas costeras de zonas templadas, con dos máximos de abundancia fitoplanctónica, uno en primavera y otro en otoño (Gárate-Lizárraga & Siqueiros-Beltrones 1998).

La figura 3 muestra la variación de la contribución de diatomeas y dinoflagelados con respecto al microfitoplancton total en las estaciones de muestreo del sistema lagunar Magdalena-Almejas durante junio de 1988. La cual indica que las diatomeas son el grupo más abundante, ocurriendo en la región noreste de Bahía Magdalena (estación K2) el valor máximo registrado (6.716 x  $10^5$  céls l<sup>-1</sup>) que corresponde al pico de primavera (Gárate-Lizárraga & Siqueiros-Beltrones 1998). En cambio los dinoflagelados tuvieron abundancias por debajo de 2.5 x  $10^4$  céls l<sup>-1</sup>.

Gárate-Lizárraga & Verdugo-Díaz (2001) han registrado en este sistema lagunar un total de 277 taxa, donde están incluidas 173 especies de diatomeas, 92 de dinoflagelados, 7 silicoflagelados, 4 cianobacterias, un cocolitofórido y una prasinofícea. La variación del número de especies de diatomeas, dinoflagelados y silicoflagelados del microfitoplancton durante el periodo comprendido entre abril de 1988 y mayo de 1989 se observa claramente en la figura 4, en la cual, es claro que las diatomeas son el grupo con una mayor riqueza específica, seguidas de los dinoflagelados.

Recientemente, Cohen-Fernández (2000) y Okolodkov & Gárate-Lizárraga (2006) han identificado nuevos registros de especies de dinoflagelados, entre los que destacan Gymnodinium fuscum, Gambierdiscus toxicus, Prorocentrum mexicanum y P. rhathymum. Estas tres últimas son especies productoras de toxinas diarreicas y hemolíticas. En este capítulo se da un inventario florístico registrándose un total de 168 especies comprendidas en 6 órdenes, 23 familias y 41 géneros. Del total de dinoflagelados identificados, 27 son dinoflagelados desnudos y 141 son tecados. El hecho de haber utilizado lugol para la fijación del material recolectado entre 1988 y 2006 ha permitido la identificación de especies de dinoflagelados desnudos, que usualmente se colapsan utilizando formol al 5% como preservador. De este grupo, sobresale la identificación de varias especies del género Amphidinium, Gyrodinium y Gymnodinium. En la lámina



Fig. 3. Variación de la abundancia total del microfitoplancton, diatomeas y dinoflagelados en el sistema lagunar Magdalena-Almejas (Junio de 1988)



Fig. 4. Variación temporal del número de especies de los principales grupos fitoplanctónicos durante el periodo entre abril de 1988 y mayo de 1989 en el sistema lagunar Magdalena-Almejas

5 se presentan 11 especies de dinoflagelados desnudos que resisten la fijación tanto con formol como con lugol. En este capítulo se registra por primera ocasión *Polykrikos kofoidii* tanto en su fase vegetativa como en su fase quística. Esto destaca la necesidad de estudiar los dinoflagelados desnudos en ambas fases de su ciclo de vida en Bahía Magdalena-Almejas, ya que son muy pocas las especies identificadas en comparación con lo reportado por Okolodkov & Gárate-Lizárraga (2006) en el Pacífico Mexicano. Asimismo, la revisión de muestras frescas en el futuro permitirá la identificación de especies de dinoflagelados desnudos que usualmente son severamente dañados por preservadores como formol ó lugol.

Del grupo de los dinoflagelados tecados, los géneros con mayor riqueza específica fueron Ceratium, Protoperidinium y Dinophysis con 45, 25 y 15 especies, respectivamente. En este capítulo se encontraron un total de 63 nuevos registros de especies de dinoflagelados para este sistema lagunar, de los cuales, sólo seis especies son registradas por primera ocasión para el Pacífico Mexicano Nematodinium armatum, Dinophysis odiosa, Metaphalacroma skogsbergii, Amphidoma caudata, Amphidoma sp. y Protoperidinium turbinatum. La primera especie es desnuda y las últimas cuatro son especies de dinoflagelados tecados. Es recomendable estudiar con mayor profundidad las especies de los géneros Heterodinium y Amphidoma, de las cuales existen pocos registros en aguas mexicanas. Los resultados compilatorios, así como los nuevos registros incluidos en este estudio se presentan en la tabla 2, se muestran cinco láminas con 93 fotografías de las especies más representativas y algunas especies hasta ahora poco frecuentes (Anexo 1). En este sistema lagunar, los florecimientos de diatomeas son comunes a lo largo del año (Gárate-Lizárraga & Siqueiros-Beltrones 1998, Gárate-Lizárraga et al. 2001a), sin embargo, de otros grupos se han registrado pocos florecimientos, entre los que destacan los del ciliado Myrionecta rubra, la prasinofícea Pyramimonas grossi y los dinoflagelados Noctiluca sinctillans, Ceratium furca y Prorocentrum triestinium (Gárate-Lizárraga et al. 2001a, 2002, Gárate-Lizárraga 2007).

Del género Prorocentrum se han registrado 9 especies para este sistema lagunar (Gárate-Lizárraga & Siqueiros-Beltrones 1998, Okolodkov & Gárate-Lizárraga 2006). En julio de 1988 se observó un florecimiento de P. triestinium en las estaciones ubicadas al sur de Bahía Almejas (R1,  $6.4 \times 10^4$  céls l<sup>-1</sup>; R2,  $1.236 \times 10^5$  céls l<sup>-1</sup>; R3,  $2.84 \times 10^4$  céls l $^{-1}$ ), alcanzando una abundancia máxima de  $6.54 imes 10^5$ céls l<sup>-1</sup> en la boca de Bahía Almejas (estación S), la cual tiene comunicación con el mar abierto (Fig. 5). Este florecimiento se presentó en un intervalo de temperatura de 17.5 a 24° C. En las estaciones de muestreo de Bahía Magdalena las concentraciones de P. triestinium fueron bajas, alcanzando un máximo de  $2.26 \times 10^4$  céls l<sup>-1</sup> en la estación K1. Esta especie es común en las costas del Pacífico Mexicano (Okolodkov & Gárate-Lizárraga 2006), sin embargo, el único florecimiento registrado hasta la fecha es en la Bahía de Mazatlán, donde esta especie alcanzó altas concentraciones (2.0 a 3.16 x 107 céls l-1) (Cortés-Altamirano et al. 2000).

Durante un ciclo diurno realizado el 10 y 11 de febrero de 1989 se registró una proliferación puntual de *Prorocentrum micans*. Esta especie alcanzó una abundancia de  $2.09 \times 10^5$  céls l<sup>-1</sup> en superficie y  $1.65 \times 10^5$ céls l<sup>-1</sup> a una profundidad de 5-10 m en un intervalo de temperatura de 16-16.5 ° C y durante el flujo de marea (Fig. 6). Esto sugiere que los florecimientos de las especies del género *Prorocentrum* ocurren principalmente en estaciones someras y con un intervalo de temperatura estrecho. A pesar de que *P. micans* es una especie común



Fig. 5. Variación de la abundancia de *Prorocentrum triestinum* durante un muestreo realizado en julio de 1988 en las estaciones de Bahía Magdalena y Bahía Almejas



■ Prorocentrum micans 🖾 Chaetoceros compressus 🗆 Eucampia zodiacus 🖩 Chaetoceros sp.

Fig. 6. Florecimiento de *Prorocentrum micans* observado durante un muestreo diurno realizado el 10 y 11 de febrero de 1989 en una estación fija de Bahía Magdalena

en el Pacífico Mexicano (Okolodkov & Gárate-Lizárraga 2006), solo se ha documentado un florecimiento ocurrido en Bahía de La Paz, junto con P. rhathymum y P. gracile (Gárate-Lizárraga & Martínez-López 1997). Seguido al florecimiento de P. micans, destacan los florecimientos de algunas especies de diatomeas tales como Chaetoceros compressus  $(7.45 \times 10^5 \text{ céls } l^{-1})$  y Eucampia zodiacus (3.12) $\times$  10<sup>5</sup> céls l<sup>-1</sup>). Ambas especies proliferan durante la temporada fría y son consideradas diacmicas, es decir, especies que proliferan más de dos veces al año (Gárate-Lizárraga & Siqueiros-Beltrones 1998). Si bien para algunas especies los florecimientos pueden ser puntuales, para E. zodiacus las condiciones hidrográficas parecen haberle favorecido, ya que los florecimientos llegaron a alcanzar concentraciones hasta de  $2.28 \times 10^6$  céls l-1 en el ciclo diurno realizado el 23 y 24 de febrero de 1989 en la misma estación de muestreo (Fig. 7). El florecimiento de E. zodiacus se mantuvo a lo largo de todo el ciclo diurno realizado sin importar el estado de la marea, pero si se observaron diferencias entre los niveles de muestreo. Verdugo-Díaz (1993) registró proliferaciones masivas de esta especie hasta mayo de 1989 a lo largo de las bahías Magdalena y Almejas.

En contraste con las diatomeas, las proliferaciones de los dinoflagelados son puntuales o de extensiones pequeñas. Así, *Noctiluca scintillans*, de la cual registró un florecimiento en el invierno del 2000 se observó en varias estaciones de muestreo (K1, K2, M1, M2) de Bahía Magdalena y alcanzó concentraciones por arriba de las  $3 \times 10^6$  céls l<sup>-1</sup> (Gárate-Lizárraga, 2007). Las condiciones hidrográficas y la topografía del sistema lagunar, propician en algunas ocasiones florecimientos, ya sea de manera puntual (en pequeñas áreas) y en otras ocasiones dominando una gran parte del área de estudio. Sin embargo, debido al método de muestreo resulta difícil determinar el tiempo de duración de los florecimientos.

En este estudio destaca la presencia de especies potencialmente productoras de toxinas diarreicas (TD):



Fig. 7. Florecimiento de *Eucampia zodiacus* observado durante un muestreo diurno realizado el 23 y 24 de febrero de 1989 en una estación fija de Bahía Magdalena

Dinophysis acuminata, D. caudata, D. fortii, Prorocentrum lima, P. rhathymum y P. minimum (Aune & Yndestad 1993, Heredia-Tapia et al. 2002). Especies productoras de toxinas paralizantes (TP) tales como Gymnodinium catenatum y Alexandrium tamiyavanichii se han registrado en muestras de red ( $20\mu m$ ) con frecuencias relativas notablemente bajas. Durante un ciclo anual (mayo 2005-mayo 2006) se realizaron muestreos mensuales para evaluar la presencia de especies productoras de toxinas paralizantes encontrándose solamente las dos especies arriba mencionadas. Asimismo, se recolectaron moluscos bivalvos en una área cercana a Puerto San Carlos (estación E). Los resultados de los análisis de toxinas paralizantes realizados fueron negativos, no obstante que Ochoa et al. (1997) reportaron valores bajos de toxinas paralizantes en diversos puntos de Bahía Magdalena. Otro florecimiento del tipo excepcional y que causó la muerte de peces en cautiverio en Bahía de La Paz fue ocasionado por el dinoflagelado Cochlodinium polykrikoides (Gárate-Lizárraga et al. 2000, 2004), especie ictiotóxica de la cual se tienen registros en diversas áreas costeras mexicanas (Okolodkov & Gárate-Lizárraga 2006). Esta especie, se ha señalado como causante de la muerte de atún en cautiverio en Bahía Magdalena (A Villareal com. pers.). C. polykrikoides es una especie que se ha relacionado con la mortandad masiva de peces en las costas de Corea y Japón debido a la producción de brevetoxinas (NSP) y sustancias reactivas de oxígeno (Chang & Kim 1997, Kim et al. 2002).

La información sobre la toxicidad de las especies de dinoflagelados se extrajo de la dirección electrónica; http:/ /www.bi.ku.dk/ioc/group2.asp, en donde se menciona el tipo de toxina que presenta cada especie con las citas de trabajos especializados. También se encontraron especies que han sido registradas como formadoras de florecimientos masivos tales como: Dinophysis caudata, Akashiwo sanguinea, Cochlodinium polykrikoides, Gymnodinium catenatum, Gyrodinium spirale, Ceratium balechii, Ceratium furca, Ceratium fusus, Gonyaulax digitalis, Gonyaulax polygramma, Gonyaulax spinifera, Protoceratium reticulatum, Peridinium quinquecorne, Prorocentrum minimum y Prorocentrum triestinum. Por otra parte, en la costa occidental se han reportado especies tóxicas como Alexandrium catenella, Dinophysis miles y D. norvegica (Smayda 1975, Okolodkov & Gárate-Lizárraga 2006, http://fans.cicese.mx/ basicos\_especies.html), por lo cual no podemos descartar su presencia en el sistema lagunar Magdalena-Almejas. Es por ello que resulta necesario seguir realizando monitoreos de las especies potencialmente tóxicas en este sistema lagunar, así como de la presencia y variación temporal de los diferentes tipos de toxinas en moluscos bivalvos.

Agradecimientos. Al Instituto Politécnico Nacional por el apoyo brindado a través de los proyectos SIP-2005-0143, SIP-20050066, SIP-20060332, SIP-20060137, SIP-20071252 y SIP-20070883. Al personal científico y técnico del Departamento de Plancton y Ecología Marina del CICIMAR-IPN que participó en los diferentes muestreos de 1980-1989. A Y. Okolodkov (Centro de Ecología y Pesquerías, Universidad Veracruzana), árbitros anónimos y editores R Funes-Rodríguez y J Gómez-Gutiérrez por la minuciosa revisión al presente manuscrito. A V. Maldonado (Secretaria de Marina, La Paz, BCS) y U. Omar por las muestras del florecimiento de P. minimum del área aledaña a Los Cabos y Bahía de La Paz (Estanques de cultivo experimental del CIBNOR); J Gómez-Gutiérrez, G García-Melgar y J Reyes-Hernández (CICIMAR-IPN) por la recolecta de muestras de fitoplancton en Bahía Magdalena; a J Dahlman por el análisis de toxinas diarreicas en las muestras de P. minimum (Department of Food Chemistry, Jena, Alemania); F Hernández-Sandoval por el análisis de toxinas en moluscos bivalvos (CIBNOR-La Paz, B.C.S.); A Martínez (CICIMAR-IPN) por facilitar el procesador de imágenes; C Ramírez-Jáuregui y G Ramírez Reséndiz (ICMyL-UNAM, Mazatlán); M Elbraechter (Deutsches Zentrum für Marine Biodiversitätsforschung, Forschunginstitut Senekenberg, Germany); y Y Fukuyo (Universidad de Tokio) por facilitar parte de la literatura especializada utilizada en este capitulo. Los autores IGL, CJBS, GVD y EFFP tuvieron apoyo SIBE y EDI.

## DINOPHYCEAE G.S. West et Fritsch 1927

Actiniscales Sournia 1984 Actiniscaceae Kützing 1844

1) Actiniscus pentasterias (Ehrenberg 1840) Ehrenberg 1854

Syn.: Dictyocha pentasterias Ehrenberg 1840

Referencias: Esta especie se registra por primera ocasión para este sistema lagunar. Se observaron dos células completas en muestras recolectadas el 4-6 de Noviembre, 2006 en la zona de Canales (Estación E).

Dinophysiales Er. Lindem. 1928 Dinophysaceae Stein 1883

 2) Amphisolenia bidentata Schröd. 1900; (Lám. 1, Fig. 16) Referencias: Gárate-Lizárraga (1992), Gárate-Lizárraga & Siqueiros-Beltrones (1998), Gárate-Lizárraga & Verdugo-Díaz (2001). Registrada por primera ocasión frente a las costas de este sistema lagunar Magdalena-Almejas por Kofoid & Skogsberg (1928), este estudio.

3) Dinophysis acuminata Clap. et J Lachm. 1859
Syn.: D. ellipsoides Kof. 1907
Referencias: Gárate-Lizárraga & Verdugo-Díaz (2001), este estudio.
Especie tóxica. Productora de ácido ocadaico, una toxina implicada en el EDM (Andersen et al. 1996).

4) Dinophysis argus (F Stein) TH Abé 1967; (Lám. 1, Fig. 9)
 Syn.: Phalacroma argus F Stein 1883
 Referencias: Este estudio. Registrada por primera ocasión frente a las costas de Los Cabos por Kofoid & Skogsberg (1928).

5) Dinophysis caudata Saville-Kent 1881; (Lám. 1, Fig. 6)

Syn.: *D. homunculus* F Stein 1883, *Dinophysis diegensis* Kof. 1907, *Dinophysis diegensis* f. *contracta* J Schill. 1933 Referencias: Gárate-Lizárraga (1992), Verdugo-Díaz (1993), Gárate-Lizárraga & Siqueiros-Beltrones (1998), este estudio. Registrada por primera ocasión en la porción para aguas del Pacífico Mexicano (Desde la región de Los Cabos hasta Guerrero-Oaxaca) por Kofoid & Skogsberg (1928).

Especie formadora de FANs; tóxica, productora de ácido domoico y PTX2.

6) Dinophysis caudata f. acutiformis Kof. & Skogsb. 1928; (Lám. 1, Fig. 1) Referencias: Este estudio. Esta forma solo ha sido registrada en una ocasión para la Bahía de Mazatlán (Rojas-Trejo 1984), sin embargo es muy común en las muestras del Golfo de California.

7) Dinophysis doryphora (F Stein) TH Abé 1967; (Lám. 1, Fig. 7)

Syn.: Phalacroma doryphorum F Stein 1883

Referencias: este estudio. Registrada por primera ocasión para aguas del Pacífico Mexicano (Desde la región de Los Cabos hasta Guerrero-Oaxaca) por Kofoid & Skogsberg (1928).

8) Dinophysis fortii Pavill. 1923; (Lám. 1, Fig. 4)

Syn.: D. intermedia Pavill. 1916.

Referencias: Gárate-Lizárraga (1992), Gárate-Lizárraga & Siqueiros-Beltrones (1998), Gárate-Lizárraga & Verdugo-Díaz (2001), este estudio.

Especie tóxica, productora de ácido ocadaico, dinofisitoxina –1 (DTX1) y pectenotoxina-2 (PTX2); toxinas implicadas en casos de EDM.

9) Dinophysis hastata F Stein 1883; (Lám. 3, Fig. 12)

Referencias: Gárate-Lizárraga & Siqueiros-Beltrones (1998), este estudio. Registrada por primera ocasión para aguas del Pacifico Mexicano (frente a las costas de Bahía Magdalena, B.C.S. hasta Acapulco) por Kofoid & Skogsberg (1928).

10) Dinophysis mitra (F Schütt) TH Abé 1967; (Lám. 1, Fig. 3)

Syn.: Phalacroma mitra F Schütt 1895

Referencias: Gárate-Lizárraga (1992), Gárate-Lizárraga & Siqueiros-Beltrones (1998), Gárate-Lizárraga & Verdugo-Díaz (2001), este estudio.

Toxicidad: Especie productora de dinofisitoxina-1 (DTX1), toxina implicada en casos de EDM.

11) Dinophysis odiosa (Pavill.) LS Tai et Skogsb. 1934; (Lám. 3, Fig. 13)

Syn.: Phalacroma odiosum Pavillard 1930

Referencias: Este estudio. Esta especie fue considerada como sinónimo de *Dinophysis hastata* (Okolodkov & Gárate-Lizárraga 2006), sin embargo, es relevante mencionar que se trata de especies separadas, por lo que este hallazgo representa el primer registro en Bahía Magdalena y en aguas mexicanas.

12) Dinophysis ovum F Schütt 1895; (Lám. 1, Fig. 2)

Referencias: Gárate-Lizárraga (1992), Verdugo-Díaz (1993), Gárate-Lizárraga & Verdugo-Díaz (2001), este estudio. Registrada por primera ocasión en la porción Sur del Golfo de California por Kofoid & Skogsberg (1928). Esta especie presenta una gran variación morfológica.

13) Dinophysis porodictyum (F Stein) TH Abé 1967
Syn.: Phalacroma porodictyum F Stein 1883
Referencias: este estudio. Registrada por primera ocasión en el Pacífico Mexicano (Desde Manzanillo hasta Acapulco) por Kofoid
& Skogsberg (1928). Especie muy parecida a Dinophysis argus, sin embargo la aleta sulcal difiere entre ambas.

14) Dinophysis rotundata Clap. et J. Lachm. 1859 Syn.: Phalacroma rotundatum (Clap. et J. Lachm.) Kof. et J. R. Michener 1911 Referencias: Este estudio. Primer registro para este sistema lagunar.

15) Dinophysis schroederi Pavill. 1909

Referencias: Este estudio. Registrada por primera ocasión en el Pacífico Mexicano (en la parte norte de la península de Baja California) por Kofoid & Skogsberg (1928). Especie, similar a *Dinophysis hastata*.

16) Dinophysis schuettii J Murray et Whitting 1899 (Lám. 1, Fig. 8) Referencias: Este estudio. Registrada por primera ocasión en aguas mexicanas (frente a Manzanillo, Colima) por Kofoid & Skogsberg (1928).

17) Dinophysis tripos Gourret 1883; (Lám. 1, Fig. 5)

Referencias: Gárate-Lizárraga (1992), Gárate-Lizárraga & Verdugo-Díaz (2001), este estudio Toxicidad: especie productora de dinofisitoxina-1 (DTX1), toxina implicada en casos de EDM.

18) Metaphalacroma skogsbergii Tai in Tai et Skogsberg 1934; (Lám. 1, Fig. 17; Lám. 3, Fig. 18)

Referencias: Este hallazgo representa no solo el primer registro para aguas de este sistema lagunar (Estación E, Fig. 2), sino también para el Pacífico Mexicano. Se encontró en muestras de red colectadas en el 2006. La forma de la célula es sub-circular en vista lateral y presentan un sulcus corto y una longitud de 55-60  $\mu$ m y el ancho de la célula varió entre 25 y 38  $\mu$ m. Es la única especie conocida de este género (Tai & Skogsberg 1934). A simple vista esta especie puede ser confundida con *Phalacroma nasutum* o bien con el género *Synophysis*. Tai & Skogsberg (1934) han mencionado que *Phalacroma nasutum* y M. skogsbergii son especies cercanas. Abe (1937) mencionó que la caracterización del género *Pseudophalacroma* es inaceptable por lo que las dos especies deberían de incluirse dentro del género *Metaphalacroma*. En este estudio se siguió el criterio de Tai & Skogsberg (1934) y de Balech (1988). En los ejemplares de M. skogsbergii observados en este estudio la aleta era pequeña y transparente. El primer registro de esta especie fue para la Bahía de Monterey, California (Tai & Skogsberg 1934) por lo que no es extraño encontral en esta zona, sin embargo, existen pocos registros de M. skogsbergii en la literatura mundial. Balech (1971, 1988) la ha registrado para las costas del Golfo de México y el Atlántico sudoccidental, mientras que Fukuyo (2000) la encontró en aguas del Japón. De acuerdo con Balech (1971, 1988) esta especie se puede encontrar tanto en zonas neríticas como en aguas oceánicas. Recientemente se observaron doce ejemplares de esta especie en muestras del Golfo de Tehuantepec obtenidas en Junio-Julio del 2007.

19) Ornithocercus quadratus Shütt 1900; (Lám. 4, Fig. 20)

Syn. O. assimilis Jørgensen 1923, Histioneis quadrata Lemmermann 1901, O. galea (Pouchet 1883) Abé 1967. Similar a Ornithocercus quadratus f. shütii, sin embargo se registra solo a nivel específico.

Referencias: Este estudio. El primer registro de esta especie fue dado por Kofoid & Skogsberg (1928) frente a las costas de Bahía Magdalena y se distribuye hasta las costas del estado de Guerrero.

20) Ornithocercus heteroporus Kof., 1907; (Lám. 4, Fig. 1)

Referencias: Este estudio. Especie registrada por primera vez para el Pacífico Mexicano por Kofoid & Skogsberg (1928). En este estudio O. *heteroporus* presentó una asociación simbiótica con cianobacterias.

21) Ornithocercus magnificus F Stein 1883; (Lám. 1, Fig. 18)

Referencias: Este estudio. Registrada por primera ocasión desde la porción Sur del Golfo de California hasta las costas del estado de Guerrero por Kofoid & Skogsberg (1928). O. *magnificus* presenta una asociación simbiótica con cianobacterias, hecho ya reportado con anterioridad para esta especie para la Bahía de La Paz (Gárate-Lizárraga & Martínez-López, 2004). Las células son esféricas de 3.5–4.8 µm de diámetro y 10µm de largo. En este género, las cianobacterias se encuentran localizadas externamente, entre las aletas singulares superior e inferior (Lucas 1991).

22) Ornithocercus steinii F Schütt 1900; (Lám. 4, Fig. 19)

Syn.: O. serratus Kof. 1907.

Referencias: Gárate-Lizárraga (1992), Gárate-Lizárraga & Verdugo-Díaz (2001). Registrada por primera ocasión desde la porción Sur del Golfo de California hasta Guerrero por Kofoid & Skogsberg (1928). Se encontraron ejemplares muy similares (intermedios) entre esta especies y O. *thumii*. O. *steinii* también presentó cianobacterias feosomas.

23) Ornithocercus thumii (A Schmidt) Kof. & Skogsb. 1928; (Lám. 1, Fig. 10)

Syn.: Parelion thumii Schmidt 1888.

Referencias: Este estudio. Especie registrada por primera vez para el Pacífico Mexicano por Kofoid & Skogsberg (1928).

Oxyphysaceae Sournia 1984

24) Oxyphysis oxytoxoides Kof. 1926

Referencias: Gárate-Lizárraga (1992), Verdugo-Díaz (1993), Gárate-Lizárraga et al. (2001a), Gárate-Lizárraga & Verdugo-Díaz (2001), este estudio.

## Gymnodiniales Lemmerm. 1910

Gymnodiniaceae Lankester 1885

25) Akashiwo sanguinea (Hirasaka) G Hansen et Moestrup in Daugbjerg, G Hansen,

Larsen et Moestrup 2000; (Lám. 5, Fig. 6)

Syn: Gymnodinium sanguineum Hirasaka 1922, G. splendens M Lebour 1925, G. nelsonii G. W. Martin 1929

Referencias: Gárate-Lizárraga (1992), Verdugo-Díaz (1993), Gárate-Lizárraga & Siqueiros-Beltrones (1998), Gárate-Lizárraga et al. (2001a). Especie formadora de FANs a lo largo del Pacífico Mexicano (Gárate-Lizárraga et al. 2001b, Okolodkov y Gárate-Lizárraga 2007); no tóxica. En el área de Punta Abreojos-La Bocana se presentó una marea roja de *Akashiwo sanguinea* desde la primer semana de Agosto del 2007. Para mediados de Septiembre solo se observaron manchones pequeños (Élfego Camacho, com pers.). En un análisis preliminar, durante este evento se contabilizaron un aproximado de 100 mil langostas muertas en la orilla de la playa (40-45 ton.), siendo en su mayoría hembras ovígeras. Todo esto con una pérdida económica entre los 15 y 20 MDP. Asimismo, hubo una mortandad de aproximadamente 2 toneladas de abulón y tres siembras de ostión, lo cual originaría una pérdida de 3,200,000 MDP. (El Sudcaliforniano, 12-13 sep. 2007; Élfego Camacho, com pers.).

26) Amphidinium extensum A Wulff 1916 Referencias: Este estudio. Se registraron dos ejemplares en muestras fijadas con lugol.

27) Amphidinium globosum Schröd 1911 Referencias: Gárate-Lizárraga & Verdugo-Díaz (2001).

28) Amphidinium sphenoides A Wulff 1916 Referencias: Este estudio. Se registraron dos ejemplares en muestras fijadas con lugol.

29) Cochlodinium polykrikoides Margalef 1961 Referencias: Gárate-Lizárraga (2007) Especie formadora de FANs; ictiotóxica. Presenta una amplia distribución en el Pacífico Mexicano y ha ocasionado mortandad de peces en cautivero (Gárate-Lizárraga et al, 2004).

30) Gymnodinium catenatum HW Graham 1943; (Lám. 5, Fig. 3) Referencias: Este estudio. Especie formadora de FANs, principalmente en el Golfo de California; tóxica; productora de toxinas paralíticas (Graham 1943, Cortés-Altamirano 1987, Gárate-Lizárraga et al. 2005).

31) Gymnodinium coeruleum Dogiel 1906
 Syn.; Balechina coerulea (Dogiel) FJR Taylor 1976).
 Referencias: Este estudio. Especie de gran tamaño, formadora de FANs.

32) Gyrodinium falcatum Kof. & Swezy; (Lám.5, Fig. 8) Referencias: Este estudio. Esta especie que antes era considerada como *Pseliodinium* v (Konovalova 2003). Se encuentra en áreas costeras del Cana

Esta especie que antes era considerada como *Pseliodinium vaubanii* Sournia 1972, es un estadio del ciclo de vida de *G. falcatum* (Konovalova 2003). Se encuentra en áreas costeras del Canal de Mozambique y en algunas bahías de Japón (Konovalova 2003). Esta especie ha sido registrada desde Oaxaca (Meave del Castillo & Hernández-Becerril 1998) hasta Bahía de La Paz (Okolodkov & Gárate-Lizárraga 2006). Este registro representa una extensión de ámbito para esta especie.

33) Gymnodinium fuscum (Ehrenb.) F Stein 1878 Referencias: Cohen-Fernández (2000).

34) Gyrodinium herbaceum Kof. et Swezy 1921 Referencias: Verdugo-Díaz (1993), Gárate-Lizárraga & Verdugo-Díaz (2001).

35) Gyrodinium spirale (Bergh) Kof. et Swezy 1921; (Lám. 5, Fig. 7) Syn.; Gymnodinium spirale Bergh 1881 Referencias: Este estudio. Especie formadora de FANs; no tóxica. Identificada en muestras frescas.

36) *Katodinium glaucum* (Lebour) AR Loebl. 1965. Syn.;Gy*rodinium glaucum* (Lebour) Kofoid et Swezy 1921. Referencias: Este estudio. Identificada tanto en muestras frescas como fijadas con lugol.

37) Katodinium sp.

Referencias: Este estudio. Se registró sólo un ejemplar

Polykrikaceae Kof. et Swezy 1921

38) Polykrikos kofoidii Chatton 1914 (Lám. 3, Fig. 16; forma quística) Referencias: Este estudio. Esta especie se ha encontrado tanto en su fase vegetativa como en su fase quística. Dos quistes de esta especie se encontraron en las muestras de diciembre, 2006.

Warnowiaceae Er. Lindem. 1928

39) Nematodinium armatum (Dogiel) Kof. et Swezy 1921
Syn.: Pouchetia armatum Dogiel 1906.
Referencias: Este estudio. Especie sub-elipsoidea con el cingulum desplazado más de una tercera parte de la longitud del cuerpo.
Se encuentra distribuida principalmente en aguas templadas. En aguas costeras y estuarinas (Steidinger y Tanger, 1996).

## Noctilucales Haeckel 1894

Kofoidiniaceae FJR Taylor 1976

40) Kofoidinium splendens Cachon et Cachon-Enj. 1967

Referencias: Gárate-Lizárraga (1992), Gárate-Lizárraga & Verdugo-Díaz (2001)

(Observado en muestras fijadas con lugol y formol). Especie costera y de mar abierto en mares templados y tropicales, cosmopolita (Steidinger & Tangen 1996).

41) Kofoidinium velelloides Pavill. 1928; (Lám. 5, Fig. 2)

Referencias: Este estudio (Observado en muestras fijadas con lugol y formol). Especie costera y de mar abierto en mares templados y tropicales, cosmopolita (Steidinger & Tangen 1996).

42) Spatulodinium pseudonoctiluca (Pouchet 1885) J Cachon et M. Cachon ex Loeblich Jr. et Loeblich III 1969; (Lám. 5, Fig. 15) Syn.: Gymnodinium pseudonoctiluca Pouchet, G. fulgens Kofoid et Swezy 1921.

Referencias: Este estudio (Especie observada en muestras fijadas con lugol). Ha sido registrada para las aguas de la costa occidental de la península de Baja California Sur (Okolodkov & Garate-Lizárraga, 2006). Yamaji (1982) reporta esta especie en aguas de Japón, Dodge (1982) para las costas de Inglaterra, Escocia y en el Mediterráneo, y Balech (1988) para el Atlántico sur.

Noctilucaceae Saville-Kent 1881

43) Noctiluca scintillans (Macartney) Kof. et Swezy 1921; (Lám. 5, Fig. 5)

Syn.: Noctiluca miliaris Suriray 1836

Referencias: Nienhuis & Guerrero (1985, 1986), Gárate-Lizárraga (1992), Verdugo-Díaz (1993), Gárate-Lizárraga & Siqueiros-Beltrones (1998), Gárate-Lizárraga & Verdugo-Díaz (2001), Gárate-Lizárraga (2007). Especie formadora de FANs; no tóxica (Gárate-Lizárraga et al. 2007).

### Protodiniferaceae Kof. et Swezy 1921

44) *Pronoctiluca pelagica* Fabre-Dom. 1889 Referencias: Gárate-Lizárraga 1992, Gárate-Lizárraga & Siqueiros-Beltrones 1998, Gárate-Lizárraga & Verdugo-Díaz (2001)

45) *Pronoctiluca rostrata* FJR Taylor 1976 Referencias: Gárate-Lizárraga 1992, Verdugo-Díaz 1993, Gárate-Lizárraga & Verdugo-Díaz 2001, este estudio.

46) Pronoctiluca spinifera (Lohmann) J Schill. 1933 Syn.: Protodinifer tentaculata Kofoid et Swezy 1921 Referencias: Verdugo-Díaz (1993), Gárate-Lizárraga & Verdugo-Díaz (2001), este estudio.

> **Peridiniales** Haeckel 1894 Amphidomataceae Sournia 1984

47) Amphidoma caudata Halldal 1953; (Lám. 5, Fig. 11) Syn.: Oxytoxum margalefi Rampi 1969, Oxytoxum tonollii Rampi 1969

Referencias: La identificación se hizo con base en los trabajos de Dodge (1982, 1985), Dodge & Saunders (1985) y Naustvoll et al. (2006). A. caudata presenta una epiteca cónica, una hipoteca redondeada y un proceso en forma de cauda bien desarrollado. Existen pocos registros de esta especie en la literatura, por lo que el género debería ser estudiado a detalle. Pocos ejemplares fueron observados en este estudio y fueron muy similares en forma. La longitud de las células varió entre 36 y 40  $\mu$ m. En áreas donde suele presentarse con mayor abundancia y llegar a formar florecimientos, existe una gran variación en forma y tamaño (Naustvoll com. pers.). Este hallazgo representa el primer registro de *A. caudata* para este sistema lagunar, lo cual también representa el primer registro a nivel de Pacífico Mexicano. Es importante mencionar que en muestras recientes (abril-junio del 2006) algunos especímenes de esta especie han sido observados en muestras de Bahía de Los Ángeles, y Bahía de La Paz, Golfo de California. *Amphidoma caudata* ha sido registrada para las costas británicas, noruegas y en el Mar Mediterráneo (Dodge 1982, Dodge & Saunders 1985, Naustvoll et al. 2000).

48) Amphidoma sp; (Lám. 5, Fig. 12)

Referencias: Este estudio. Aparentemente similar a *A. caudata* pero de menor tamaño. Debido a que las células no se pudieron limpiar, no se pudieron observar las costillas de las células. La prolongación de la hipoteca es menor que en *A. caudata*, por lo que puede tratarse de una especie diferente. Primer registro para las costas del Pacifico Mexicano. Florecimientos del género *Amphidoma* han sido reportados en el Estrecho de Magallanes, Chile (Campodonico & Guzmán 1974).

Ceratiaceae Kof. 1907

49) Ceratium azoricum Cleve 1900; (Lám. 2, Fig. 5) Referencias: Gárate-Lizárraga (1992), Gárate-Lizárraga & Verdugo-Díaz (2001)

50) Ceratium balechii Meave, Okolodkov et Zamudio in Meave del Castillo, Zamudio-Reséndiz Okolodkov et Salgado-Ugarte 2003; (Lám. 2, Fig. 2)

Referencias: Gárate-Lizárraga (1992), Verdugo-Díaz (1993), Gárate-Lizárraga & Siqueiros-Beltrones (1998), Gárate-Lizárraga & Verdugo-Díaz (2001), este estudio

Especie formadora de FANs; no tóxica.

51) Ceratium balechii f. longum Zamudio et Meave; (Lám. 2, Fig. 4) Referencias: este estudio. Especie formadora de FANs; no tóxica. Es importante mencionar que las formas Ceratium balechii f. balechii (Fig. 2) y Ceratium balechii f. longum han sido identificadas indistantemente en trabajos previos en este sistema lagunar.

52) Ceratium belone Cleve 1900; (Lám. 3, Fig. 9) Referencias: Gárate-Lizárraga (1992), Gárate-Lizárraga & Verdugo-Díaz (2001)

53) Ceratium breve (Ostenf. et J Schmidt) Schröd. 1906, var. parallelum (J Schmidt) Jörg. 1911; (Lám. 2, Fig. 14) Referencias: Gárate-Lizárraga (1992), Gárate-Lizárraga & Verdugo-Díaz (2001).

54) Ceratium breve var. schmidtii (Jörg.) Sournia 1966; (Lám. 2, Fig. 17) Referencias: Este estudio.

55) Ceratium candelabrum (Ehrenb.) F Stein 1883, var. depressum (Pouchet) Jörg. 1920; (Lám. 3, Fig. 7) Syn.: C. candelabrum var. dilatatum (Gourret) Jörg. 1911; C. candelabrum f. curvatulum Jörg. Referencias: Gárate-Lizárraga (1992), Gárate-Lizárraga & Verdugo-Díaz (2001).

56) Ceratium carriense Gourret 1883, var. carriense; (Lám. 2, Fig. 15) Referencias: Gárate-Lizárraga (1992), Gárate-Lizárraga & Verdugo-Díaz (2001).

57) Ceratium concilians Jörg. 1920

Referencias: Este estudio. Esta especie es común en el Golfo de California (Licea-Durán et al. 1995).

58) Ceratium contortum var. contortum (Gourmet) Cleve 1900; (Lám. 3, Fig. 2) Referencias: Gárate-Lizárraga (1992), Gárate-Lizárraga & Siqueiros-Beltrones (1998).

59) Ceratium contortum var. karstenii (Pavill.) Sournia 1966; (Lám. 3, Fig. 1) Syn.: C. karstenii Pavill. 1907, C. schrankii Kof. 1907 Referencias: Gárate-Lizárraga (1992).

60) Ceratium declinatum var. declinatum (G. Karst.) Jörg. 1911 Referencias: Gárate-Lizárraga (1992), Gárate-Lizárraga & Siqueiros-Beltrones (1998).

61) Ceratium deflexum (Kof.) Jörg. 1911; (Lám. 3, Fig. 17) Syn.: C. deflexum var. recurvatum (Schröder) Jørgensen 1911) Referencias: Gárate-Lizárraga (1992), Verdugo-Díaz (1993), Gárate-Lizárraga & Siqueiros-Beltrones (1998).

62) Ceratium divaricatum (Lemmermann 1900) Kof. 1908; (Lám. 2, Fig. 3) Referencias: Este estudio.

63) Ceratium euarcuatum Jörg. 1920; (Lám. 3, Fig. 8) Referencias: Gárate-Lizárraga (1992), Gárate-Lizárraga & Siqueiros-Beltrones (1998). Este estudio.

64) Ceratium extensum (Gourret) Cleve 1900, f. extensum Syn: Ceratium fusus var. extensum Gourret 1883 Referencias: Gárate-Lizárraga (1992), Gárate-Lizárraga & Verdugo-Díaz (2001).

65) Ceratium falcatum (Kof.) Jörg. 1920; (Lám. 2, Fig. 13) Referencias: Gárate-Lizárraga (1992), Gárate-Lizárraga & Siqueiros-Beltrones (1998), este estudio.

66) Ceratium furca (Ehrenb.) Clap. et J Lachm. 1859 Referencias: Nienhuis & Guerrero (1985), Nienhuis & Guerrero (1986), Gárate-Lizárraga (1992), Gárate-Lizárraga & Verdugo-Díaz (2001), Gárate-Lizárraga et al. (2001a), Gárate-Lizárraga & Siqueiros-Beltrones (2003), Okolodkov & Gárate-Lizárraga (2006), Gárate-Lizárraga (2007), este estudio. Especie formadora de FANs; no tóxica.

67) Ceratium fusus (Ehrenb.) Dujard. 1844; (Lám. 2, Fig. 12) Referencias: Nienhuis & Guerrero (1985), Nienhuis & Guerrero (1986), Martínez-López (1987), Gárate-Lizárraga (1992), Gárate-Lizárraga & Siqueiros-Beltrones (1998), Gárate-Lizárraga & Verdugo-Díaz (2001), Gárate-Lizárraga et al. (2001a), Okolodkov & Gárate-Lizárraga (2006), Gárate-Lizárraga (2007), este estudio. Especie formadora de FANs; no tóxica.

68) Ceratium gibberum Gourmet 1883, var. dispar (Pouchet) Sournia 1966; (Lám. 3, Fig. 11). Referencias: Gárate-Lizárraga (1992), Gárate-Lizárraga & Siqueiros-Beltrones (1998), este estudio.

69) Ceratium gravidum Gourret 1883; (Lám. 3, Fig. 3) Referencias: este estudio.

70) Ceratium hexacanthum Gourret 1883, var. hexacanthum; (Lám. 2, Fig. 10) Syn.: C. reticulatum (Pouchet) Cleve 1903; non C. reticulatum Imhof 1883 Referencias: Gárate-Lizárraga (1992), Gárate-Lizárraga & Siqueiros-Beltrones (1998).

71) Ceratium horridum (Cleve) Gran 1902; (Lám. 2, Fig. 8) Referencias: Gárate-Lizárraga (1992), Verdugo-Díaz (1993).

72) Ceratium kofoidii Jörg. 1911 Syn.: C. boehmii HW Graham & Bronik Referencias: Gárate-Lizárraga (1992), Verdugo-Díaz (1993), Gárate-Lizárraga & Verdugo-Díaz (2001). Este estudio.

73) Ceratium limulus (Gourret ex C. H. G. Plate) Gourret 1883; (Lám. 2, Fig. 16) Referencias: Gárate-Lizárraga (1992), Gárate-Lizárraga & Siqueiros-Beltrones (1998), Gárate-Lizárraga & Verdugo-Díaz (2001).

74) Ceratium lineatum (Ehrenb.) Cleve 1899 Referencias: Gárate-Lizárraga (1992), Cohen-Fernández (2000), Gárate-Lizárraga & Verdugo-Díaz (2001).

75) Ceratium longissimum (Schröd.) Kof. ex Jörg. 1911; (Lám. 2, Fig. 9) Referencias: Este estudio.

76) Ceratium lunula (Schimper ex G. Karst.) Jörg. 1911, var. lunula Referencias: Nienhuis & Guerrero (1986), Gárate-Lizárraga (1992).

77) Ceratium lunula f. megaceros Jörg., 1911; (Lám. 3, Fig. 6). Referencias: Este estudio. Esta forma de *C. lunula* es común en el Golfo de California (Licea et al. 1995).

78) Ceratium macroceros var. gallicum (Kof.) Sournia 1966 Referencias: Gárate-Lizárraga (1992), Gárate-Lizárraga & Siqueiros-Beltrones (1998), este estudio.

79) Ceratium macroceros (Ehrenb.) Vanhöffen 1897, var. macroceros; (Lám. 2, Fig. 7) Referencias: Este estudio.

80) Ceratium massiliense (Gourret) Jörg. 1911, var. massiliense; (Lám. 3, Fig. 15) Referencias: Nienhuis & Guerrero (1986), Gárate-Lizárraga (1992), Gárate-Lizárraga & Siqueiros-Beltrones (1998), este estudio.

Tabla 2. Continuación. Lista de especies registradas para el sistema lagunar Bahía Magdalena-Bahía Almejas 81) Ceratium paradoxides Cleve 1900 Referencias: Este estudio. Especie propias de aguas tropicales. 82) Ceratium pentagonum Gourret 1883, var. pentagonum Referencias: Gárate-Lizárraga 1992, Gárate-Lizárraga & Sigueiros-Beltrones 1998. 83) Ceratium pentagonum Gourret 1883, var. subrobustum; (Lám. 2, Fig. 1) Referencias: Este estudio. Esta especie que se puede observar sola o formando cadenas de 4 y 6 células. 84) Ceratium petersii Steem. Niels. 1934; (Lám. 2, Fig. 6) Referencias: Este estudio. Esta especie puede confundirse fácilmente con C. azoricum, sin embargo, es de mayor tamaño y presenta los cuernos apicales mas abiertos. 85) Ceratium praelongum (Lemmerm.) Kof. 1907; (Lám. 2, Fig. 18) Referencias: Este estudio. 86) Ceratium ranipes Cleve 1900; (Lám. 3, Fig. 5) Syn.: C. ranipes f. palmatum (Schröd.) Jörg. Referencias: Gárate-Lizárraga (1992), Gárate-Lizárraga & Siqueiros-Beltrones (1998). 87) Ceratium symetricum var. symetricum Pavill. 1905 Syn.: C. gracile (Gourret) Jörg. 1911 Referencias: Gárate-Lizárraga (1992), este estudio. 88) Ceratium tenue var. buceros Balech 1988 Referencias: Este estudio.

89) Ceratium teres Kof., 1907; (Lám. 2, Fig. 11) Referencias: Este estudio.

90) Ceratium trichoceros (Ehrenb.) Kof. 1908 Referencias: Nienhuis & Guerrero (1986), Martínez-López (1987), Gárate-Lizárraga (1992), Gárate-Lizárraga & Siqueiros-Beltrones (1998), Verdugo-Díaz (1993), Gárate-Lizárraga & Verdugo-Díaz (2001), este estudio.

91) Ceratium tripos var. tripos (O. F. Müll.) Nitzsch 1817 Referencias: Nienhuis & Guerrero (1985), Nienhuis & Guerrero (1986), Martínez-López (1987), Gárate-Lizárraga (1992).

92) Ceratium tripos var. atlanticum (Ostenf.) Paulsen 1907; (Lám. 3, Fig. 10) Syn.: C. tripos subsp. atlanticum (Ostenf.) N Peters 1934, C. tripos var. tripodoides (Jörg.) Paulsen 1930. Referencias: Gárate-Lizárraga (1992).

93) Ceratium vultur Cleve 1900, f. vultur; (Lám. 3, Fig. 4) Referencias: Gárate-Lizárraga (1992).

94) Ceratium vultur f. sumatranum (G. Karst.) Sournia 1968 Referencias: Gárate-Lizárraga (1992), Gárate-Lizárraga & Siqueiros-Beltrones (1998).

Ceratocorythaceae Er. Lindem. 1928

95) Ceratocorys armata (F Schütt) Kof. 1910; (Lám. 1, Fig. 14)

Syn.: Goniodoma acuminatum var. armatum Schütt.

Referencias: Este estudio. Esta especie está ampliamente distribuida en aguas tropicales y subtropicales (Graham, 1942). Su distribución en aguas mexicanas va desde la costa occidental de Baja California Sur hasta las costas de Acapulco, Guerrero (Okolodkov & Gárate-Lizárraga, 2006).

96) Ceratocorys bipes (Cleve) Kof., 1910; (Lám. 4, Fig. 10)

Syn.: Goniodoma bipes Cleve 1903

Referencias: Este estudio. Esta especie se ha registrado en la costa occidental de Baja California Sur (Martínez-López 1993). C. bipes es una especie tropical rara y está relativamente restringida a masas de agua de origen tropical que otras especies del género.

97) Ceratocorys horrida F. Stein 1883; (Lám. 3, Fig. 14) Referencias: Gárate-Lizárraga (1992), Gárate-Lizárraga & Siqueiros-Beltrones (1998), este estudio.

Goniodomataceae Er. Lindem. 1928

98) Gambierdiscus toxicus Adachi et Fukuyo 1979

Referencias: Okolodkov & Gárate-Lizárraga (2006)

Esta especie poduce ciguatoxinas 4A, 4B, 3C y maitotoxinas-1, -2 and -3. En humanos se produce envenenamiento ciguatérico por consumo de peces (ECP) (Yasumoto 1996). En Baja California Sur, en 1984, ocurrió un brote por ingerir pescado con ciguatera que ocasionó 200 casos de envenenamiento. Se analizaron varias especies de pescado y la toxina se detectó en un pescado pargo (*Lutjanus*) (Parrilla-Cerrillo et al. 1993). Posteriormente, Barton et al (1995) y Lechuga-Deveze & Sierra-Beltrán (1995) informaron sobre un caso de ciguatera en las Islas Alijos, ubicadas en el Pacifico Mexicano a 300 millas al este de Bahía Magdalena.

99) Goniodoma polyedricum (Pouchet) Jörg. 1899

Syn.: Goniodoma acuminatum (Ehrenb.) F Stein 1883: Heteraulacus polyedricus (Pouchet) Drugg et Loebl. 1967; Triadinium polyedricum (Pouchet) JD Dodge 1981

Referencias: Gárate-Lizárraga (1992), Gárate-Lizárraga & Siqueiros-Beltrones (1998), este estudio.

Gonyaulacaceae Er. Lindem. 1928

100) Amylax triacantha (Jörg.) Sournia 1984 Syn.: Gonyaulax triacantha Jörg. 1899

Referencias: Este estudio. Especie común en aguas del Golfo de California (ver Okolodkov & Gárate-Lizárraga 2006). Okolodkov (2005) ha señalado que presencia de esta especie en el Golfo de California puede ser debida al transporte en agua de lastres en embarcaciones o bien a la influencia de la Corriente de California. Sin embargo, los registros de esta especie cada vez se hacen más frecuentes. En observaciones recientes se ha encontrado en Bahía de Los Ángeles, Bahía de La Paz y en Bahía Magdalena.

101) *Alexandrium* sp. 1; (Lám. 5, Fig. 13) Referencias: Este estudio. Se observó una cadena de 2 células.

102) Alexandrium sp. 2 Referencias: Este estudio. Se observó una cadena de 2 células.

103) Alexandrium monilatum (JF Howell) Balech 1985
Syn.: Gonyaulax monilata JF Howell 1953
Referencias: Este estudio.
Especie formadora de FANs; provoca mortalidad de peces por la producción de sustancias hemolíticas (Bass et al. 1983). Se encontró en muestras de la boca de Bahía Magdalena.

104) *Alexandrium tamiyavanichii* Balech 1994 Referencias: Gárate-Lizárraga (2007). Especie tóxica, productora de toxinas paralíticas (Wisessang et al. 1991). Se encontraron tres ejemplares en la Bahía Almejas.

105) Gonyaulax digitalis (Pouchet) Kof. 1911 Syn.: Protoperidinium digitale Pouchet, Peridinium digitale Lemmermann 1899. Referencias: Gárate-Lizárraga (1992), Gárate-Lizárraga & Siqueiros-Beltrones (1998). Especie formadora de FANs; no tóxica.

106) Gonyaulax polygramma F Stein 1883; (Lám. 1, Fig. 13) Referencias: Nienhuis & Guerrero (1985), Gárate-Lizárraga (1992), este estudio. Especie formadora de FANs; no tóxicaGárate-Lizárraga et al.(2006).

107) Gonyaulax spinifera (Clap. et J Lachm.) Diesing 1866; (Lám. 5, Fig. 10) Syn.: G. levanderi (Lemmermann) Paulsen 1907 Referencias: Gárate-Lizárraga (1992), Gárate-Lizárraga & Siqueiros-Beltrones (1998). Especie formadora de FANs; no tóxica.

108) Protoceratium reticulatum (Clap. et J Lachm.) Buetschli 1885
Syn.: Gonyaulax grindleyi Reinecke 1967
Bas. Peridinium reticulatum Claparède et Lachmann 1859
Referencias: Okolodkov & Gárate-Lizárraga (2006).
Especie formadora de FANs; tóxica, productora de yesotoxinas que se pueden acumular en bivalvos y es tóxico para ratones (Satake et al. 1999). Se desconoce su efecto en humanos.

Heterocapsaceae Fensome et al. 1993

109) Heterocapsa triquetra (Ehrenb.) F Stein 1883 Syn.: Peridinium triquetrum (Ehrenb.) M. Lebour 1925

Referencias: Esta especie se registra por primera ocasión para este sistema lagunar. El hallazgo de tres células vacías en muestras colectadas el 4 de Noviembre, 2006 en la zona de Canales permitió registrar esta especie formadora de FANs, la cual no es tóxica, ni nociva.

Heterodiniaceae Er. Lindem. 1928

110) Heterodinium milneri (J Murray et Whitting) Kof. 1906; (Lám. 5, Fig. 18)
Syn.: Peridinium milneri Kof. 1906
Referencias: Este estudio. Se encontraron dos ejemplares en muestras colectadas en la boca de Bahía Magdalena.

111) Heterodinium cf. scrippsii Kofoid 1906

Referencias: Este estudio. Se encontró un solo ejemplar en muestras colectadas en la boca de Bahía Magdalena.

Oxytoxaceae Lindemann 1928

112) Oxytoxum parvum J Schill., 1937; (Lám. 1, Fig. 12). Referencias: Este estudio. Se encontraron solo dos ejemplares con una longitud de 36-40  $\mu$ m en muestras colectadas en la boca de Bahía Magdalena.

113) Oxytoxum scolopax F Stein 1883 Referencias: Gárate-Lizárraga (1992), Gárate-Lizárraga & Verdugo-Díaz (2001).

114) Oxytoxum tesselatum (F Stein) F. Schütt 1895 Syn.: Corythodinium tesselatum Loebl. et AR Loebl. 1966 Referencias: Gárate-Lizárraga (1992), Gárate-Lizárraga & Verdugo-Díaz (2001).

115) Oxytoxum variabile J Schill. 1937 Referencias: Cohen-Fernández (2000), Gárate-Lizárraga & Verdugo-Díaz (2001).

Peridiniaceae Ehrenb. 1830

116) Ensiculifera mexicana Balech 1967 Referencias: Este estudio. Especie similar en forma a Scrippsiella trochoidea en forma y tamaño. La identificación se hizo en tecas limpias.

117) Peridinium quinquecorne TH Abé 1927 Referencias: Okolodkov & Gárate-Lizárraga (2006), Gárate-Lizárraga (2007), este estudio. Presente principalmente en el verano. Especie formadora de FANs; no tóxica.

118) Scrippsiella trochoidea (F Stein) AR Loebl. 1976: 25, emend. Janofske 2000 Syn.: Peridinium trochoideum Lemmerm. 1910 Referencias: Gárate-Lizárraga & Verdugo-Díaz (2001), Gárate-Lizárraga & Verdugo-Díaz (2001), este estudio. Esta especie es formadora de FANs.

Diplopsaliaceae Matsuoka 1988

119) Diplopsalis lenticula Bergh 1881 Syn.: Glenodinium lenticula (Bergh) Pouchet 1883 Referencias: Este estudio.

120) Diplopsalopsis bomba (F Stein) JD Dodge et Toriumi 1993
Syn.: Diplopelta bomba F Stein ex Jörg. 1912: F Stein 1883, Peridiniopsis asymmetrica L Mangin 1911; Diplopsalis asymmetrica (L Mangin) Er. Lindem. 1928; Diplopsalopsis asimétrica (L Mangin) TH Abé 1941; Dissodium asymmetrica (L Mangin) AR. Loebl. 1970.

Referencias: Este estudio.

121) Protoperidinium abei (Paulsen) Balech 1974; (Lám. 4, Fig. 7) Syn.: Peridinium abei Paulsen 1931 Referencias: Este estudio. Esta especie es común en aguas del Golfo de California (ver Okolodkov y Gárate-Lizárraga 2006).

122) Protoperidinium asymmetricum Balech 1974 Syn.: Sphaeridinium asymmetrica TH Abé 1927, Peridinium asymmetrica (TH Abé) TH Abé 1936 Referencias: Gárate-Lizárraga (1992), Gárate-Lizárraga & Siqueiros-Beltrones (1998).

123) Protoperidinium bipes (Paulsen) Balech 1974

Tabla 2. Continuación. Lista de especies registradas para el sistema lagunar Bahía Magdalena-Bahía Almejas Syn.: Peridinium bipes Paulsen 1907 Referencias: Nienhuis & Guerrero (1985), Nienhuis & Guerrero (1986), Gárate-Lizárraga (1992), Gárate-Lizárraga & Verdugo-Díaz (2001), Gárate-Lizárraga et al. (2001a), Okolodkov & Gárate-Lizárraga (2006), Gárate-Lizárraga (2007), este estudio. 124) Protoperidinium brochii (Kof. et Swezy) Balech 1974 Syn.: Peridinium brochii Kof. et Swezy 1921 Referencias: Gárate-Lizárraga (1992) Gárate-Lizárraga et al. (2001a). 125) Protoperidinium cerasus (Paulsen) Balech 1973 Syn.: Peridinium cerasus Paulsen 1904 Referencias: Gárate-Lizárraga (1992) (1993), Gárate-Lizárraga & Verdugo-Díaz (2001). 126) Protoperidinium claudicans (Paulsen) Balech 1974 Syn.: Peridinium claudicans Paulsen 1907 Referencias: Gárate-Lizárraga (1992), Verdugo-Díaz (1993), Gárate-Lizárraga & Verdugo-Díaz (2001), este estudio. 127) Protoperidinium conicum (Gran) Balech 1974 Syn.: Peridinium conicum Gran 1902 (Lám. 4, fig, 15). Referencias: Gárate-Lizárraga (1992), Verdugo-Díaz (1993), Gárate-Lizárraga & Verdugo-Díaz (2001), este estudio. 128) Protoperidinium crassipes (Kof.) Balech 1974 Syn.: Peridinium crassipes Kof. 1907 Referencias: Gárate-Lizárraga (1992), Gárate-Lizárraga & Verdugo-Díaz (2001). 129) Protoperidinium curtipes (Jörg.) Balech 1974, f. asymmetricum (Matzen.) Okolodkov en Okolodkov et Gárate-Lizárraga (2006); (Lám. 4, figs, 12,13) Referencias: Este estudio. Esta forma de P. curtipes fue descrita inicialmente para las costas de Oaxaca (Okolodkov & Gárate-Lizárraga 2006) por lo que nuestro hallazgo amplía su distribución en costas mexicanas. 130) Protoperidinium depressum (Bailey) Balech 1974 Syn.: Peridinium depressum Bailey 1855 Referencias: Gárate-Lizárraga (1992), Verdugo-Díaz (1993), Gárate-Lizárraga & Verdugo-Díaz (2001), este estudio. 131) Protoperidinium divaricatum (Meunier) Parke et JD Dodge 1976 Syn.: P. divaricatum Meunier 1917 Referencias: este estudio. Especie pequeña, solo se encontró un ejemplar. 132) Protoperidinium divergens (Ehrenb.) Balech 1974 Syn.: Peridinium divergens Ehrenb. 1841 Referencias: Gárate-Lizárraga (1992), Gárate-Lizárraga & Verdugo-Díaz (2001), este estudio. 133) Protoperidinium elegans (Cleve) Balech 1974; (Lám. 3, Fig. 15) Syn.: Peridinium elegans Cleve 1900 Referencias: Gárate-Lizárraga (1992), Gárate-Lizárraga & Verdugo-Díaz (2001). 134) Protoperidinium globulus (F Stein) Balech 1974 Syn.: Peridinium globulus F Stein 1883 Referencias: Gárate-Lizárraga (1992), Gárate-Lizárraga & Verdugo-Díaz (2001). 135) Protoperidinium granii (Ostenf.) Balech 1974. Syn.: Peridinium granii Ostenf. 1906. Referencias: Gárate-Lizárraga (1992), Gárate-Lizárraga & Siqueiros-Beltrones (1998). 136) Protoperidinium latispinum (L Mangin) Balech 1974; (Lám. 4, Fig. 8) Referencias: Gárate-Lizárraga (1992), Verdugo-Díaz (1993), Gárate-Lizárraga & Verdugo-Díaz (2001). 137) Protoperidinium longipes Balech 1974; (Lám. 4, Fig. 17). Syn.: Peridinium longipes G Karst. 1907 Referencias: Gárate-Lizárraga (1992), Gárate-Lizárraga & Verdugo-Díaz (2001). 138) Protoperidinium murrayi (Kof.) Hernández-Becerril 1991; (Lám. 4, Fig. 18). Syn.: Peridinium murrayi Kof. 1907 Referencias: Gárate-Lizárraga (1992), Gárate-Lizárraga & Verdugo-Díaz (2001). 139) Protoperidinium oceanicum (Vanhöffen) Balech, 1974 Syn.: Peridinium oceanicum Vanhöffen 1897

Referencias: Gárate-Lizárraga (1992), Verdugo-Díaz (1993), Gárate-Lizárraga & Verdugo-Díaz (2001), este estudio.

140) Protoperidinium pallidum (Ostenf.) Balech 1973 Syn.: Peridinium pallidum Ostenf. 1899 Referencias: Verdugo-Díaz (1993), Gárate-Lizárraga & Verdugo-Díaz (2001).

141) Protoperidinium pedunculatum (F Schütt) Balech 1974 Syn.: Peridinium pedunculatum F Schütt Referencias: Verdugo-Díaz (1993), Gárate-Lizárraga & Verdugo-Díaz (2001).

142) Protoperidinium pellucidum Bergh, 1882: (Lám. 4, Fig. 14) Referencias: Gárate-Lizárraga (1992), Gárate-Lizárraga & Siqueiros-Beltrones (1998), Gárate-Lizárraga & Verdugo-Díaz (2001), este estudio.

143) Protoperidinium pentagonum (Gran) Balech, 1974; (Lám. 4, Fig. 16) Syn.: Peridinium pentagonum Gran, 1902 Referencias: Este estudio.

144) Protoperidinium turbinatum (L Mangin) Balech 1974; (Lám. 4, Fig. 9)
Syn.: Peridinium inaequale L Mangin 1928
Referencias: Este estudio. La longitud de las células varió en 50 y 70 μm, coincidiendo con lo reportado por Schiller (1937). Se asemeja en forma a P. thulesense, la cual es de menor tamaño (longitud entre 32-40 μm) y una tabulación diferente (Balech, 1958).

145) *Protoperidinium subinerme* (Paulsen) AR Loebl., 1969 Syn.: *Peridinium subinermis* Paulsen, 1904 Referencias: Este estudio. Presente en las estaciones de la boca de Bahía Magdalena.

Podolampadaceae Er. Lindem. 1928

146) Blepharocysta splendormaris (Ehrenb.) Ehrenb. 1873 Referencias: Okolodkov & Gárate-Lizárraga (2006), este estudio.

Presente en las estaciones de la boca de Bahía Magdalena

147) Blepharocysta paulsenii J Schill. 1937; (Lám. 5, Fig. 17) Referencias: Este estudio. La identificación se realizó utilizando la tabulación propuesta para esta especie. Esta especie se ha reportado par la Bahía de La Paz (Okolodkov & Gárate-Lizarraga 2006).

148) Podolampas bipes F Stein 1883; (Lám. 1. Fig. 15) Referencias: Verdugo-Díaz (1993), Gárate-Lizárraga & Verdugo-Díaz (2001).

149) Podolampas elegans F Schütt 1895 Referencias: Verdugo-Díaz 1993, Gárate-Lizárraga & Verdugo-Díaz 2001.

150) Podolampas palmipes F Stein 1883 Referencias: Gárate-Lizárraga (1992), Gárate-Lizárraga & Verdugo-Díaz (2001), este estudio.

151) *Podolampas spinifera* Okamura 1912 Referencias: Este estudio. Presente en la estación E (Fig. 2).

Pyrophacaceae Er. Lindem. 1928

152) *Fragilidium* sp. Referencias: Este estudio. Se encontró solo un ejemplar, y no fue posible identificar a nivel específico.

153) Pyrophacus horologium F Stein 1883 Referencias: Verdugo-Díaz (1993), Gárate-Lizárraga & Verdugo-Díaz (2001).

154) Pyrophacus steinii (J Schill.) D Wall et B Dale 1971

Syn.: P. horologicum var. steinii Schiller 1935

Referencias: Gárate-Lizárraga (1992), Verdugo-Díaz (1993), Cohen-Fernández (2000), Gárate-Lizárraga & Verdugo-Díaz (2001), este estudio.

Prorocentraceae F. Stein 1883

155) Prorocentrum belizeanum MA Faust 1993 Referencias: Okolodkov & Gárate-Lizárraga 2006

Especie tóxica: Produce ácido ocadaico y causa intoxicación por toxinas diarreicas (EDM) (Morton et al. 1998).

156) Prorocentrum compressum (Bailey) TH Abé ex JD Dodge 1975; (Lám. 4, Fig. 11).

Syn.: Exuviaella compressa Ostenf. 1899.

Tax. syn.: Prorocentrum lebourae J Schill. 1928; Exuviaella lenticulata Matzen. 1933; Prorocentrum lenticulatum (Matzen.) FJR Taylor 1976.

Referencias: Este estudio.

157) Prorocentrum gracile F Schütt 1895; (Lám. 4, Fig. 4) Syn.: P. sigmoides Böhm 1933 Referencias: Gárate-Lizárraga (1992), Verdugo-Díaz (1993), Cohen-Fernández (2000), Gárate-Lizárraga & Verdugo-Díaz (2001), este estudio.

158) Prorocentrum lima (Ehrenb.) F Stein 1878; (Lám. 4, Fig. 5)
Syn.: Exuviaella marina Cienkowski 1881
Referencias: Okolodkov & Gárate-Lizárraga (2006).
Prorocentrum lima produce toxinas diarreicas: ácido ocadaico (Murakami et al. 1982), DTX-1 (Lee et al. 1989), DTX-2 (Hu et al. 1993), además de prorocentrolide (Torigoe et al. 1988) y una toxina de rápida acción (FAT) (Tindall et al. 1984).

159) Prorocentrum mexicanum BF Osorio 1942; (Lám. 4, Fig. 2) Referencias: Okolodkov & Gárate-Lizárraga (2006), este estudio. Especie formadora de FANs, no se han realizado estudios de toxicidad.

160) Prorocentrum micans Ehrenb. 1833

Referencias: Nienhuis & Guerrero (1986), Gárate-Lizárraga (1992), Verdugo-Díaz (1993), Gárate-Lizárraga & Verdugo-Díaz (2001), este estudio.

Especie formadora de FANs; no es tóxica.

161) Prorocentrum minimum (Pavill.) J Schill. 1933; (Lám. 4, Fig. 6)

Syn.: Exuviaella mariae-lebouriae Parke et Ballantine 1957

Referencias: Gárate-Lizárraga (1992), Cohen-Fernández (2000), Gárate-Lizárraga & Verdugo-Díaz (2001), este estudio.

Especie formadora de FANs; tóxica. Aunque esta especie ha sido considerada como tóxica (Grzebyk et al. 1997), en algunos florecimientos de *P. minimum* ocurridos en la costa occidental de  $(2.4-3.0 \times 10^6 \text{ céls } l^{-1})$  en Abril, 2002 y en Bahía de La Paz en Mayo, 2002  $(1.4 \times 10^6 \text{ céls } l^{-1})$  no se encontraron toxinas diarreicas en las muestras analizadas.

162) Prorocentrum rhathymum AR Loebl. Sherley et RJ Schmidt 1979

Referencias: Okolodkov & Gárate-Lizárraga (2006); (Lám. 1, Fig. 11)

Especie formadora de FANs; produce toxinas hemolíticas que no son tóxicas para humanos (Nakajima et al. 1981), sin embargo, es soluble en agua y el precipitado en acetona es tóxico para ratones (Carlson & Tindall 1985). En México no se ha reportado toxicidad para esta especie.

163) Prorocentrum triestinum J Schill. 1918; (Lám. 4, Fig. 3).

Referencias: Verdugo-Díaz (1993), Gárate-Lizárraga & Verdugo-Díaz (2001), Gárate-Lizárraga et al. (2001a), este estudio. Formadora de FANs en el sistema lagunar Magdalena-Almejas y en Bahía Concepción. En esta última bahía se observó un florecimiento en Julio 1999, el cual alcanzó un total de 2.4 x 10<sup>6</sup> céls l<sup>-1</sup> (Gárate-Lizárraga este estudio). Especie no tóxica, sin embargo ha causado mortalidad de peces por abatimiento de oxígeno (http://www.red-tide.org/new\_site/pt.htm).

## Pyrocystales Apstein 1909

Pyrocystaceae (Schütt) Lemmerm. 1899

164) Pyrocystis fusiformis var. fusiformis (Wyville-Thomson ex Haeckel) VH Blackmann 1902; (Lám. 5, Fig. 9). Referencias: Este estudio. Se encontró a esta especie formando cadenas de dos células.

165) Pyrocystis hamulus Cleve 1900; (Lám. 5, Fig. 14) Referencias: Gárate-Lizárraga (1992), Gárate-Lizárraga & Verdugo-Díaz (2001).

166) Pyrocystis lunula (F Schütt) F Schütt 1896; (Lám. 5, Fig. 4) Syn.: Gymnodinium lunula F Schütt 1895; Dissodinium lunula (F. Schütt) Pascher 1916 Referencias: Verdugo-Díaz (1993), Gárate-Lizárraga & Verdugo-Díaz (2001), este estudio.

167) Pyrocystis noctiluca J Murray 1885 ex Haeckel; (Lám. 5, Fig. 1) Referencias: Martínez-López (1987), Gárate-Lizárraga (1992), Gárate-Lizárraga & Verdugo-Díaz (2001), este estudio.

168) Pyrocystis robusta Kof., 1907; (Lám. 3, Fig. 19)

Referencias: Este estudio. Se encontró en las estaciones de la boca de Bahía Magdalena en Mayo del 2005. Existen pocos registros para esta especie en el Pacífico Mexicano.

#### LITERATURA CITADA

- Abé TH (1967) The armoured Dinoflagellata: II. Prorocentridae and Dinophysidae (A). Publ Seto Mar Biol Lab 14(5):369-389
- Adachi M, Kanno T, Mastubara T, Nishijima T, Itakura S, Yamaguchi M (1999) Promotion of cyst formation in the toxic dinoflagellate *Alexandrium* (Dinophyceae) by natural bacterial assemblages from Hiroshima Bay, Japan. Mar Ecol Progr Ser 191:175-185
- Andersen P, Hald B, Emsholm H, (1996) Toxicity of Dinophysis acuminata in Danish coastal waters. En: Yasumoto T, Oshima Y, Fukuyo Y. (eds) Intergovernmental Oceanographic Commission of UNESCO, p 281-284
- Anderson DM (1998) Physiology and bloom dynamics of toxic Alexandrium species, with emphasis on life cycle transitions.
   En: Anderson, DM, Cembella AD, Hallegraeff GM. (eds) Physiological ecology of harmful algal blooms. NATO ASI Series. G41. Springer-Verlag, p 29-48
- Anderson DM, Keafer BA (1987) An endogenous annual clock in the toxic marine dinoflagelate *Gonyaulax tamarensis*. Nature 325: 616-617
- Anderson DM, Wall D (1978) Potential importance of the benthic cysts of Gonyaulax tamarensis and G. excavata in initiating toxic dinoflagellate blooms. J Phycol 14:224-234
- Anderson DM, Taylor CD, Armbrust EV (1987) The effects of darkness and anareobiosis on dinoflagellate cyst germination. Limnol. Oceanogr 32:340-351
- Aune T, Yndestad M (1993) Diarrhetic shellfish poisoning. En: Falconer IR (ed) Algal toxins in seafood and drinking water. Academic Press Ltd, p 87-104
- Balech E (1958) Fitoplancton de la campaña antártica Argentina 1954-1955. Physis 21(60):75-80
- Balech E (1971) Microplancton de la campaña oceanográfica. Productidad III. Rev Mus Argent Cienc Nat Bernadino Rivadavia Inst Nac Invest Cien Nat 3(1):1-202
- Balech E (1988) Los dinoflagelados del Atlántico Sudoccidental. Ministerio de Agricultura Pesca y Alimentación. Publ Espec Inst Esp Oceanogr, Madrid, España
- Baqueiro-Cárdenas EC, Massó JE, Guajardo H (1982) Distribución y abundancia de los moluscos de importancia comercial en Baja California Sur. Ser Divul CRIP-La Paz, 11: 7-32
- Band-Schmidt CJ, Morquecho-Escamilla L, Lechuga-Devéze CH, Anderson DM (2004) Effects of growth medium, temperature, salinity and seawater source on the growth of Gymnodinium catenatum (Dinophyceae) from Bahía Concepción, Gulf of California, Mexico. J Plank Res 26:1-12
- Barton EO, Tanner P, Turchen SG, Tunget C, Manoguerra A, Clark RF (1995) Ciguaterafish poisoning: a southern California epidemic. West J Med 163:31-35
- Bass EJ, Pinion JP, Sharif ME (1983) Characterization of a hemolysin from *Gonyaulax monilata* Howell. Aquat Toxicol 3:15-22
- Blackburn SI, Hallegraeff GM, Bolch CJ (1989) Vegetative reproduction and sexual life cycle of the toxic dinoflagellate *Gymnodinium catenatum* from Tasmania, Australia. J Phycol 25:577-590
- Bolch CJ, Negri AP, Blackburn SI, Green DH (2001) Life cycle variation in PST content and cell toxicity in PST-producing dinoflagellates. En: Garcés E, Zingone A, Montresor M, Reguera B, Dale B (eds) LIFEHAB: Life history of microalgal species causing harmful blooms, Report of European Workshop, Calvià, Majorca, Spain, October 24-27, 2001, p 37-42
- Carlson RD, Tindall DR (1985) Distribution and periodicity of toxic dinoflagellates in the Virgin Islands. En: Anderson DM, White AW, Baden DG (eds) Toxic Dinoflagellates. Elsevier, New York:171-176

- Chang M, Kim WS (1997) Prologue and epilogue to the first international symposium on plankton blooms. Ocean Res 19:135–137
- Chatton E (1912) Diagnoses preliminaires de Péridiniens parasites nouveaux. Bull Sci Zool France 37:85-92
- Chatton E (1952) Classe des Dinoflagellés ou Péridiniens. En: Grassé PP (ed) Traité de Zoologie. Masson, Paris:309-390
- Cohen-Fernández EJ (2000) Estructura y dinámica en el corto plazo, de la comunidad de fitoplancton en la boca de la Bahía Magdalena, Costa Occidental de Baja California Sur, México. Tesis de maestría. Universidad Nacional Autónoma de México. México
- Campodonico I, Guzmán L (1974) Marea roja producida por Amphidoma sp. en el Estrecho de Magallanes, Chile. Ans Inst Pat Punta Arenas (Chile) 1-2:209-213
- Cortés-Altamirano R (1987). Observaciones de mareas rojas en la Bahía de Mazatlán, Sinaloa, México. Cienc. Mar. 13:1-19
- Cortés-Altamirano R, Núñez-Pastén A, Alonso-Rodríguez R (2000) Primer registro de una marea roja debido a Prorocentrum triestinum (Dinophyceae: Prorocentraceae) y su variación anual en la Bahía de Mazatlán, Sinaloa, México. En: Ríos-Jara E, Juárez-Carrillo EM, Pérez-Peña, López-Uriarte E, Robles-Jarero G, Hemández-Becerril DU, Silva-Briano M (eds). Estudios sobre plancton en México y el Caribe. XI Reunión Nacional de la Sociedad Mexicana de Planctología Universidad de Guadalajara. Guadalajara, Jalisco, México
- Dale B (1983) Dinoflagellate resting cysts: "benthic plankton". En: Fryxell GA (ed). Survival Strategies of the Algae. Cambridge University Press. Cambridge, p 69-136
- Dodge JD (1982) Marine Dinoflagellates of the British Isles: Her Majesty's Stationery Office London, UK p. 303
- Dodge JD (1985) Atlas of dinoflagellates. A scanning electron microscope survey. Farrand Press, London, UK p. 119
- Dodge JD, Saunders RD (1985) An SEM study of *Amphidoma nucula* (Dinophyceae) and description of the thecal plates in *A. caudata*. Arch Protist 129:89-99
- Fukuyo Y, Takano H, Cthihara M, Matsuoka K (1990) Red tide organisms in Japan. An Illustrated Taxonomic Guide. Uchida Rokakuho Co. Ltd., Tokyo, Japan
- Fukuyo Y (2000) Atlas of Dinoflagellates (ver. 1.5 / Nov.1.) version electrónica
- Gaines G, Elbrachter M (1987) Heterotrophic nutrition. En: Taylor FJR (ed). The biology of dinoflagellates. Blackwell Oxford UK, p 224–267
- Gárate-Lizárraga I (1992) Variación espacio temporal de la abundancia fitoplanctónica y de la estructura de las asociaciones microfitoplanctónicas en el sistema lagunar Magdalena-Almejas durante 1984-1986. Tesis de maestría. Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas, La Paz, BCS. México
- Gárate-Lizárraga I (2007) Florecimientos algales nocivos. En: Anguas-Vélez BH (ed). Perspectivas para el desarrollo acuacultural del sistema lagunar de Bahía Magdalena-Almejas, B.C.S., México. Comité editorial del Instituto Politécnico Nacional, México, p 41-48
- Gárate-Lizárraga I & Martínez-López A (1997) Primer registro de una marea roja de *Prorocentrum mexicanum* (Prorocentraceae) en el Golfo de California. Rev Biol Trop 45(3):1263
- Gárate-Lizárraga I, Siqueiros-Beltrones DA (1998) Time variation in phytoplankton assemblages in a subtropical lagoon system after the 1982-1983 "El Niño" event (1984 to 1986). Pac Sci 52:79-97
- Gárate-Lizárraga I, Siqueiros-Beltrones DA (2003) Infection of *Ceratium furca* by the parasitic dinoflagellate *Amoebophrya ceratii* (Amoebophryidae) in the Mexican Pacific. Acta Bot Mex 65:1-9

- Gárate-Lizárraga I, Verdugo-Díaz G (2001) Checklist of marine phytoplankton in a subtropical lagoon system in Baja California Sur, México, from 1980-1989. En: Rushton BS, Hackney P, Tyrie CR (eds). Biological collections and biodiversity. Linnean Society Occasional Publications 3. Westb Publis, London, p 255-270
- Gárate-Lizárraga I, Siqueiros-Beltrones DA, Verdugo-Díaz G, Guerrero-Caballero R (2000) Dinámica del fitoplancton en el sistema lagunar Magdalena-Almejas. En: Lluch-Belda D, Elorduy-Garay J, Lluch-Cota SE, Ponce-Díaz G (eds) BACs, Centro de Actividad Biológica del Pacífico Mexicano. La Paz, Baja California Sur, México. pp. 143-155
- Gárate-Lizárraga I, Martínez-López A (2004) Simbiosis en diatomeas y dinoflagelados de la porción sur del Golfo de California. XIII Reunión Nacional de la Sociedad Mexicana de Planctología y VI Reunión Internacional de Planctología. Nuevo Vallarta, Nayarit, México: pp 95-96
- Gárate-Lizárraga I, Verdugo-Díaz G, Siqueiros-Beltrones DA (2001a) Variations in phytoplankton assemblages during 1988-1989 in a subtropical lagoon system on the west coast of Mexico. Oceánides 16:1-16
- Gárate-Lizárraga I, Hernández-Orozco ML, Band-Schmidt C, Serrano-Casillas G (2001b) Red tides along the coasts of Baja California Sur, México (1984 to 2001). Oceánides 16(2):127-134
- Gárate-Lizárraga I, Band-Schmidt C, Cervantes-Duarte R, Escobedo-Urías DG (2002) Mareas rojas de *Mesodinium rubrum* (Lohmann) Hamburger y Budenbrock ocurridas en el Golfo de California durante el invierno de 1998. Hidrobiológica 12:15-20
- Gárate-Lizárraga I, López-Cortés D J, Bustillos-Guzmán JJ, Hernández-Sandoval FE (2004) Blooms of Cochlodinium polykrikoides (Gymnodiniaceae) in the Gulf of California, Mexico. Rev Biol Trop 52(Suppl 1):51-58
- Gárate-Lizárraga I, Bustillos-Guzmán JJ, Morquecho-Escamilla L, Band-Schmidt CJ, Alonso-Rodríguez R, Erler K, Luckas B, Reyes-Salinas A, Góngora-González DT (2005). Comparative paralytic shellfish toxin profiles in the strains of *Gymnodinium catenatum* Graham from the Gulf of California, México. Mar Poll Bull 50:211-217
- Gárate-Lizárraga I, Muñetón-Gómez MS, Maldonado-López V (2006) Florecimiento del dinoflagelado Gonyaulax polygramma frente a la Isla Espíritu Santo, Golfo de California (Octubre 2004). Rev Invest Mar 17:31-39
- Garcés E, Zingone A, Montresor M, Reguera B, Dale B (2001) LIFEHAB Life histories of microalgal species causing harmful blooms. En: Garcés E, Zingone A, Montresor M, Reguera B, Dale B (eds). European Commission. Calvià, Majorca, España, October 24-27, 2001
- Graham HW (1943) *Gymnodinium catenatum*, a new dinoflagellate from the Gulf of California. Amer Microsc Soc Trans 62(3):259-261
- Grzebyk D, Deardon A, Berland B, Puochus YF (1997) Evidence of a new toxin in the red-tide dinoflagellate *Prorocentrum minimum*. J Plank Res 19:1111-1124
- Hallegraeff GM (2003) Harmful algae blooms; a global review. En: Hallegraeff G, Cembella A (eds). Manual on harmful marine microalgae. UNESCO, p 793
- Hasle GR (1978) Using the inverted microscope. En: Sournia A (ed) Phytoplankton manual. UNESCO, Paris, p. 191-196
- Head MJ (1996) Modern dinoflagellates cysts and their biological affinities, pp 1197-1247. En: Jansonius J, McGregor DC (eds). Palinology: principles and applications. Amer Assoc Stratigr Palynol Found 3
- Heredia-Tapia A, Arredondo-Vega BO, Núñez-Vázquez EJ, Yasumoto T, Yasuda M, Ochoa JL (2002) Isolation of Prorocentrum lima (Syn. Exuviaella lima) and diarrhetic shell-

fish poisoning (DSP) risk assessment in the Gulf of California Mexico. Toxicon 40:1121-1127

- Hernández-Becerril DU (2003) La diversidad del fitoplancton marino de México. Un acercamiento actual. En: Barreiro-Güemes MT, Meave del Castillo ME, Signoret-Poillon MR, Figueroa-Torres MG (eds). Planctología Mexicana. Sociedad Mexicana de Planctología, A. C., La Paz, Baja California Sur, México, p 1-17
- Hernández-Becerril DU, Meave del Castillo ME, Flores-Granados C (2003) Dinoflagelados del orden Dinophysiales en las Costas Mexicanas. En: Barreiro-Güemes MT, Meave del Castillo ME, Signoret-Poillon MR, Figueroa-Torres MG (eds). *Planctología Mexicana*. Sociedad Mexicana de Planctología A. C. México, p 19-42
- Hernández-Orozco ML, Gárate-Lizárraga I (2006) Síndrome de Envenenamiento Paralizante por Consumo de Moluscos. Rev Biomed 17(1):45-60
- Hu T, deFreitas ASW, Doyle J, Jackson D, Marr J, Nixon E, Pleasance S, Quilliam MA, Walter JA, Wright JLC (1993) New DSP toxin derivates isolated from toxic mussels and the dinoflagellates, *Prorocentrum lima* and *Prorocentrum concavum*. En: Smayda TJ, Shimizu Y (eds). Toxic Phytoplankton Blooms in the Sea., Elsevier, New York, p 507-512
- Hummert C, Ritscher M, Reinhardt K, Luckas B (1997) Analysis of the characteristic PSP profiles of *Pyrodinium bahamense* and several strains of *Alexandrium* by HPLC based on ionpair chromatographic separation, post-column oxidation, and fluorescence detection. Chromatographia 45:312-316
- Kim D, Oda M, Muramatsu T, Kim D, Matsuyama Y, Honjo T (2002) Possible factors responsible for the toxicity of *Cochlodinium polykrikoides*, a red tide phytoplankton. Comp Biochem Physiol Part C 132:415-423
- Kofoid, CA, Swezy O (1921) The free-living unarmored dinoflagellata. Mem. Univ. Calif., vol. 5, Univ. Calif. Press. Berkeley, California, U.S.A. 562 pp
- Kofoid CA, Skogsberg T (1928) The Dinoflagellata: the Dinophysioideae family Heterodiniidae of the Peridinioidae. Mem Mus Compar Zool Harvard Coll 51
- Konovalova GV (2003) The life history of Gyrodinium falcatum and validity of *Pseliodinium vaubanii* (Dinophyceae). Rus Jour Mar Biol 29:167-170
- Lee JS, Igarashi T, Fraga S, Dahl E, Hovgaard P, Yasumoto T (1989) Determination of diarrhetic shellfish toxins in various dinoflagellate species. J Appl Phycol 1:147-152.
- Lechuga-Devéze C, Sierra-Beltrán AP (1995) Documented case of ciguatera on the Mexican Pacific coast. Nat Tox 3:415-418
- Licea-Durán S, Moreno-Ruiz JL, Santoyo-Reyes H, Figueroa G (1995) Dinoflagelados del Golfo de California. Universidad Autónoma de Baja California Sur, SEPFOMES, PROMARCO. México, DF
- Lucas IAN (1991) Symbionts of the tropical Dinophysiales (Dinophyceae). Ophelia 33:213-24
- Margalef R (1977) Ecología. Ed Omega, Barcelona, España
- Martínez-López A (1987) Fitoplancton de Bahía Magdalena-Bahía Almeja. Investigaciones ecológicas del plancton del noroeste de México. Informe Interno del Departamento de Plancton, Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas, La Paz, BCS. México
- Martínez-López A (1993) Efectos del evento "El Niño" 1982-83 en la Estructura del fitoplancton en la costa occidental de Baja California Sur. Tesis de Maestría. Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas La Paz, BCS, México
- Meave del Castillo ME, Hernández-Becerril DU (1998) Fitoplancton. En: Tapia M (ed). El Golfo de Tehuantepec. El ecosistema y sus recursos. Universidad Autónoma

Metropolitana-Iztapalapa, México, D.F., p 59-74

- Meave del Castillo ME, Zamudio-Resendiz ME, Aké-Castillo JA, Guerra-Martínez SL, Barbosa-Ledesma IF (2003) Conocimiento actual de la flora de diatomeas planctónicas (Bacillariophyta) en el Pacífico Mexicano. En: Barreiro-Güemes MT, Meave del Castillo ME, Signoret-Poillon MR, Figueroa-Torres MG (eds). Planctología Mexicana. Sociedad Mexicana de Planctología, A. C., La Paz, B.C.S., México, p 43-83
- Meave del Castillo ME, Zamudio-Reséndiz ME, Okolodkov YB, Saldado I, Guerra-Martínez S (2003) *Ceratium balechii* sp. nov. (Dinophyceae: Gonyaulacales) del Pacífico Mexicano. Hidrobiológica 13:75-90
- Moestrup Ø (2006) IOC Taxonomic reference list of toxic algae, Intergovernmental Oceanographic Commission of UNESCO; ioc.unesco.org/hab/data.htm
- Montresor M (2001) To what extent dinoflagellate life histories are important for HAB's: LIFEHAB life histories of microalgal species causing harmful blooms. En: Garcés E, Zingone A, Montresor M, Reguera B, Dale B (eds). European workshop. Majorca, España, October 24-27, 2001 p 18-21
- Montresor M, Marino D (1996) Modulating effect of cold-dark storage and excystment in *Alexandrium pseudogonyaulax* (Dinophyceae). Mar Biol 127:55-60
- Morton SL, Moeller PDR, Young KA & Lanoue B (1998). Okadaic acid production from the marine dinoflagellate *Prorocentrum belizeanum* Faust isolated from the Belizean coral reef ecosystem. Toxicon 3:201-206
- Murakami Y, Oshima Y, Yasumoto T (1982) Identification of okadaic acid as a toxic component of a marine dinoflagellate *Prorocentrum lima*. Bull Jap Soc Sci Fish 48: 69-72
- Nakajima I, Oshima Y, Yasumoto T (1981) Toxicity of benthic dinoflagellates in Okinawa. Bull Jap Soc Sci Fish 47:1029-1033
- Naustvoll LJ, Castberg T, Skogen M (2006) Primærproduksjon planteplankton. Havets Ressurser og miljø 2006. Fisk Hav 1:121-123
- Nienhuis HJ, Guerrero R (1985) A qualitative analysis of the annual phytoplankton cycle of the Magdalena complex (Mexico). J Plank Res 7:427-441
- Nienhuis HJ, Guerrero R (1986) Biomasa y distribución del fitoplancton entre 1980 y 1984 en Bahía Magdalena Baja California Sur, México. Atlas Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas, La Paz, BCS. México Vol 5:1-123
- Ochoa JL, Sánchez-Paz A, Cruz-Villacorta A, Núñez-Vázquez E, Sierra-Beltrán A (1997) Toxic events in the northwest Pacific coastline of Mexico during 1992-1995: origin and impact. Hydrobiologia 352:195-200
- Okolodkov YB, Gárate-Lizárraga I (2006) An annotated checklist of dinoflagellates (Dinophyceae) from the Mexican Pacific. Acta Bot Mex 74:1-154
- Parrilla-Cerrillo MC, Vázquez-Castellanos JL, Saldate-Castañeda EO, Nava-Fernández LM (1993) Food-borne toxic infection outbreaks of microbial and parasitic origin. Salud Pública Mex 35:456-463
- Prakash A (1967) Growth and toxicity of a marine dinoflagellate Gonyaulax tamarensis. J Fish Res Board Can 24:589-606
- Rengefors K (2001) Freshwater dinoflagellates: life history and HAB potential. En: Garcés E, Zingone A, Montresor M, Reguera B, Dale B (eds). LIFEHAB: Life history of microalgal species causing harmful blooms. Report of European Work-

shop, Calvià, Majorca, España October, 24-27, 2001, p 64-66

- Rojas-Trejo SP (1984) Ciclo anual del fitoplancton de la Bahía de Mazatlán, Sinaloa, México (1980). Tesis de Licenciatura. Escuela de Biología, Universidad Autónoma del Estado de Morelos, Cuernavaca, Morelos, México
- Satake M, Ichimura T, Sekiguchi K, Yoshimatsu S, Oshima Y (1999) Confirmation of yessotoxin and 45 46 47trinoryessotoxin production by *Protoceratium reticulatum* collected in Japan. Nat Tox 7:147-150
- Schiller J (1933) Dinoflagellatae (Peridineae). Teil 1. Akademische Verlagsgesellschaft M.B.H. Leipzig, Germany
- Schiller J (1937) Dinoflagellatae (Peridineae). Teil 2. Akademische Verlagsgesellschaft MBH Leipzig
- Smayda TJ (1975) Net phytoplankton and the greater than 20micron phytoplankton size in upwelling waters off Baja California. Fish Bull 73:38-50
- Sournia A (1968) Le genre *Ceratium* (peridinien planctonique) dans le canal de Mozambique. Contribution a une révision mondiale. Vie et Milieu 18:375-499
- Sournia A, Chretiennot D, Ricard M (1991) Marine phytoplankton: how many species in the world ocean? J Plank Res 13:1093-1099
- Spector DL (1984) Dinoflagellates. Academic Press, Inc., New York
- Steidinger KA (1975) Basic factors influencing red tides. En: LoCicero VR (ed). Proceedings of the first international conference of toxic dinoflagellate blooms. Wakofield, M. A. Massachussetts Science and Technology Foundation, p 153-162
- Steidinger KA, Tangen K (1996) Dinoflagellates. En: Tomas C (ed). Identifying marine diatoms and dinoflagellates. Academic Press, San Diego p. 387-584
- Tai LS, Skogsberg T (1934) Studies on the Dinophysoidae, marine armored dinoflagellates, of Monterey Bay, California. Arch Protistenk 82:380-482
- Taylor FJR (1976) Dinoflagellates from the International Indian Ocean Expedition. A report on material collected by the R.V. ''Anton Bruun'' 1963-1964. Bibliotheca Bot. 132:1- 234
- Tindall DR, Dickey RD, Carlson RD, Morey-Gaines G (1984) Ciguatoxigenic dinoflagellates from the Caribbean Sea. En: EP Ragelis (ed). Seafood Toxins Am Chem Soc Washington, p 225-240
- Torigoe K, Murata M, Yasumoto T (1988) Prorocentrolide, a toxic nitrogenous macrocycle from a marine dinoflagellate. J Am Chem Soc 110:7876-7877
- Verdugo-Díaz G (1993) Estructura de las asociaciones microfitoplanctónicas, abundancia numérica total y fraccionada durante un ciclo anual (1988-1989) en el sistema lagunar Magdalena-Almejas, B.C.S. Tesis de licenciatura. Universidad Autónoma de Baja California Sur. La Paz, BCS, México
- Wyatt T, Jenkinson IR (1997) Notes on *Alexandrium* population dynamics. J Plank Res 19:551-575
- Yamaji I (1982) Illustrations of the marine plankton of Japan. Hoikusha Publ. Co., Ltd., Osaka, Japan third edition p 130
- Yasumoto T, Satake M (1996) Chemistry, etiology and determination methods of ciguatera toxins. J Toxicol 15: 91-107
- Yu R, Hummert C, Luckas B, Qian PY, Zhou MJ (1998) A modified HPLC method for analysis of PSP toxins in algae and shellfish from China. Chromatographia 48:671-676

Gárate–Lizárraga I, Band–Schmidt CJ, Verdugo–Díaz G, Muñetón–Gómez MS, Félix–Pico EF (2007) Dinoflagelados (Dinophyceae) del sistema lagunar Magdalena-Almejas. En: Funes-Rodríguez R, Gómez-Gutiérrez J, Palomares-García R (eds) Estudios ecológicos en Bahía Magdalena. CICIMAR-IPN, La Paz, Baja California Sur, México, p 145-174

# **ANEXO 1**



Lámina 1. 1) Dinophysis caudata f. acutiformis, 2) Dinophysis ovum, 3) Dinophysis mitra, 4) Dinophysis fortii, 5) Dinophysis tripos, 6) Dinophysis caudata, 7) Dinophysis doryphora, 8) Dinophysis schuettii, 9) Dinophysis argus, 10) Ornithocercus thumii, 11) Prorocentrum rhathymum, 12) Oxytoxum parvum, 13) Gonyaulax polygramma, 14) Ceratocorys armata, 15) Podoloampas bipes, 16) Amphisolenia bidentata, 17) Metaphalacroma skogsbergii, 18) Ornithocercus magnifcus



Lámina 2. 1) Ceratium pentagonum var. subrobustum, 2) Ceratium balechii f. balechii, 3) Ceratium divaricatum, 4) Ceratium balechii f. longum, 5) Ceratium azoricum, 6) Ceratium petersi, 7) Ceratium macroceros var. macroceros, 8) Ceratium horridum, 9) Ceratium longissiumum, 10) Ceratium hexacanthum, 11) Ceratium teres, 12) Ceratium fusus, 13) Ceratium falcatum, 14) Ceratium breve var. parallelum, 15) Ceratium carriense var. carriense, 16) Ceratium limulus, 17) Ceratium breve var. schmidtii, 18) Ceratium praelongum



Lámina 3. 1) Ceratium contortum var. karstenii, 2) Ceratium contortum var. contortum, 3) Ceratium gravidum, 4) Ceratium vultur var. vultur, 5) Ceratium ranipes, 6) Ceratium lunula f. megaceros, 7) Ceratium candelabrum var. depressum, 8) Ceratium euarcatum, 9) Ceratium belone, 10) Ceratium, tripos var. atlanticum, 11) Ceratium gibberum var. dispar, 12) Dinophysis hastata, 13) Dinophysis odiosa, 14) Ceratocorys horrida, 15) Protoperidinium elegans, 16) quiste de Polykrikos kofoidii 17) Ceratium deflexum, 18) Metaphalacroma skogsbergii, 19) Pyrocystis robusta



Lámina 4. 1) Ornithocercus heterophorus, 2) Prorocentrum mexicanum, 3) Prorocentrum triestinium, 4) Prorocentrum gracile, 5)
 Prorocentrum lima, 6) Prorocentrum minimum, 7) Protoperidinium abei, 8) Protoperidinium latispinum, 9) Protoperidinium turbinatum, 10) Ceratocorys bipes, 11) Prorocentrum compressum, 12-13) Protoperidinium curtipes var. asymmtricum, 14) Protoperidinium pellucidum, 15) Protoperidinium conicum, 16) Protoperidinium pentagonum, 17) Protoperidinium longipes, 18) Protoperidinium. murrayii, 19) Ornithocercus steinii, 20) Ornithocercus quadratus



Lámina 5. 1) Pyrocystis noctiluca, 2) Kofoidinium velleloides, 3) Gymnodinium catenatum,4) Dissodinium lunula, 5) Noctiluca scintillans,
6) Akashiwo sanguinea, 7) Gyrodinium spirale, 8) Gyrodinium falcatum, 9) Pyrocystis fusiformis var. fusiformis, 10) Gonyaulax spinifera, 11) Amphidoma caudata, 12) Amphidoma sp., 13) Alexandrium sp. 1, 14) Pyrocystis hamulus, 15) Spatulodinium pseudonoctiluca, 16) Spiniferites sp. (quiste), 17) Blepharocysta paulsenii, 18) Heterodinium milneri

## Variación estacional de la producción de huevos de copépodos en Bahía Magdalena

## Ricardo Palomares-García<sup>'</sup>, Roxana De Silva-Dávila<sup>'</sup>

Depto. de Plancton y Ecología Marina. Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas, Instituto Politécnico Nacional. Av. IPN s/n. Col Playa Palo de Sta. Rita, AP. 592, La Paz, 23096, Baja California Sur, México. COFAA and EDI grants recipients

RESUMEN: Se evaluó la variación y la posible influencia de la temperatura del mar y la concentración de clorofila-a (Cl-a) en tres niveles de profundidad, y del volumen del plancton sobre la producción de huevos de 5 especies de copépodos calanoides (Acartia clausi, Acartia lilljeborgii, Paracalanus parvus, Centropages furcatus y Labidocera trispinosa) durante un ciclo anual (junio de 2000 a mayo de 2001) en Bahía Magdalena. Debido a que el sitio de estudio se ubicó en el canal principal de navegación en la bahía, la columna de agua mantuvo condiciones de homogeneidad en términos de la distribución vertical de la temperatura y la concentración de Cl-a a lo largo del año. Todas las variables mostraron una pronunciada variación estacional. La temperatura promedio de la columna de aqua alcanzó valores máximos en el verano (25.8 °C) y mínimos en primavera (15.3 °C); la Cl-a presentó dos máximos, uno a principios del verano (10.3 mg Cl- $a \cdot m^{-3}$ ) y otro en primavera (13.8 mg Cl- $a \cdot m^{-3}$ ), mientras que los volúmenes de plancton promedio fueron máximos a inicios de primavera. Cada especie de copépodos respondió en forma distinta a los cambios ambientales estacionales. La tasa máxima de producción de huevos coincidió con la época donde alcanzaron la mayor densidad poblacional las especies de copépodos autóctonos numéricamente dominantes: en verano-otoño (A. lilljeborgii), y a finales de invierno y primavera (A. clausi y P. parvus). En cambio, las especies alóctonas limitaron su presencia y máxima producción de huevos, solamente al periodo de verano-otoño (C. furcatus), o no manifestaron preferencia por alguna época del año (L. trispinosa). La tasa específica promedio del crecimiento por producción de huevos (TPH) fue subóptima aunque en ocasiones se registraron máximos de producción de huevos, cercanos e incluso superiores a los registros previos en esta bahía. Aparentemente la variación de la temperatura y el efecto de la talla de las hembras son dos de los factores evaluados más relevantes que regulan el ciclo de producción de huevos de los copépodos en Bahía Magdalena.

PALABRAS CLAVES: Copépodos · Producción de huevos · Fecundidad · Bahía Magdalena

ABSTRACT: The variability and influence of sea temperature, chlorophyll-a (Ch-a) concentration at three depth levels, and plankton volume on the egg production rates of 5 calanoid copepod species (Acartia clausi, Acartia lilljeborgii, Paracalanus parvus, Centropages furcatus, and Labidocera trispinosa) were estimated during an annual cycle (June 2000 to May 2001) in Bahía Magdalena. The sampling station was located in the main navigation channel of the bay, where the mixed water column showed a uniform vertical distribution of temperature and Ch-a concentrations throughout the year. All environmental variables showed a strong seasonal variation. The mean temperature of the water column was highest during summer (25.8 °C) and lowest in spring (15.3 °C); Ch-a showed two maxima, one at early summer (10.3 mg Cl- $a \cdot m^{-3}$ ), and the other in spring (13.8 mg Cl- $a \cdot m^{-3}$ ), while the peak of mean plankton volume was recorded in early spring. Each copepod species responded differently to the seasonal environmental variability. The larger egg production rates of dominant autochthonous species (A. lilljeborgii during summer-autumn, and A. clausi, and P. parvus at the end of winter and in spring) occurred when their maximum populations size were recorded. The presence and highest egg production rates of nonresident (alloctonous) species were restricted only to summer-fall (C. furcatus), or showed no seasonal pattern (L. trispinosa). In average, the specific growth rate of egg production (TPH) was suboptimal but occasionally maximum egg production values were close to or even higher than the maximum egg production values previously recorded in this bay. Apparently sea temperature variation and the size of the females are two of the most influential factors evaluated in this study that regulate the egg production cycle of copepods in Bahía Magdalena.

KEY WORDS: Copepods  $\cdot$  Egg production  $\cdot$  Fecundity  $\cdot$  Bahía Magdalena

## **INTRODUCCIÓN**

Los copépodos constituyen uno de los grupos del zooplancton más abundantes en todos los océanos y aportan la mayor parte de la biomasa zooplanctónica en la zona epipelágica (Longhurst 1967). Constituyen el principal enlace trófico entre los productores primarios y los depredadores zooplanctófagos, y realizan una función fundamental en la exportación, redistribución y almacenamiento de carbono y nutrientes en el ecosistema pelágico influyendo de manera significativa en la dinámica trófica y los ciclos biogeoquímicos del océano (Banse 1995).

La comunidad zooplanctónica en el complejo lagunar de Bahía Magdalena es dominada por copépodos, que aportan entre un 50 y un 90% de la biomasa del plancton (Palomares-García et al. 2003b). De un total de 152 especies de copépodos que han sido registradas para Bahía Magdalena y la zona nerítica adyacente (Hernández-Trujillo et al. 2004), aproximadamente solo una decena ( $\sim$ 7%) de especies tienen densidades poblacionales significativamente elevadas a lo largo del año, aportando alrededor del 80% de la abundancia total de copépodos (Palomares-García 1992). La abundancia poblacional de estos crustáceos está fuertemente asociada a las tasas de producción de biomasa, la cual tiene tres componentes fundamentales: crecimiento corporal, producción de mudas y producción de huevos. En relación a este último componente, las especies de copépodos con desove externo usualmente producen huevos a partir de su edad de primera madurez hasta su muerte, produciendo diariamente en promedio cerca del 20% de su peso corporal (Gómez-Gutiérrez & Peterson 1999, Gómez-Gutiérrez et al. 1999). La edad de primera madurez y producción de huevos en los copépodos ocurre hasta el ultimo estadio de desarrollo (copepodito VI) cuando el crecimiento somático durante el periodo de intermuda de las hembras adultas es asintótico y poco significativo. Sin embargo, en este estadio VI la producción por mudas sigue siendo un componente relevante en la producción secundaria total de los copépodos.

Si las hembras de algunas especies de copépodos, como las especies del género Acartia, son expuestas a condiciones ambientales extremas dentro de sus límites fisiológicos, estas producen huevos de resistencia que se sedimentan en el fondo marino donde pueden permanecer en estado de latencia durante periodos estacionales o incluso interanuales (Marcus 1984, Stalder & Marcus 1997). Esta estrategia reproductiva puede favorecer el mantenimiento de la población bajo condiciones ambientales adversas sin necesidad de procesos de repoblación por procesos advectivos. Sin embargo, la mayoría de las especies producen huevos subitáneos altamente sensibles en su desarrollo embrionario a las condiciones ambientales. De esta forma las fluctuaciones poblacionales estacionales y consecuentemente la tasa de reclutamiento y la producción anual de cada especie dependen en gran medida de su fisiología y estrategias reproductivas (Miller 2003). Así el análisis de la producción de huevos de las especies y los factores ambientales que pueden incidir en su variación poblacional pueden ser procesos fundamentales para comprender la tasa de reclutamiento, renovación de biomasa, y duplicación poblacional asociados con la capacidad de carga de este ecosistema costero.

Diversos estudios coinciden en señalar que la cantidad de huevos producidos por los copépodos, está influenciada principalmente por la temperatura (Huntley & López 1992) y la disponibilidad y calidad del alimento (Kiørboe & Nielsen 1994, Liang et al. 1994, Gómez-Gutiérrez & Peterson 1999, Halsband-Lenk et al. 2002, Palomares–García et al. 2006) y este puede llegar a ser limitante cualitativa o cualitativamente, en términos de tamaño, calidad y cantidad de ácidos grasos y contenido de toxinas, entre otras variables (Armstrong et al. 1991, Kiørboe & Nielsen 1994, Palomares-García et al. 2006). No obstante, la variabilidad del alimento en el medio natural y su influencia en las tasas vitales de éstos organismos es metodológicamente difícil de estimar, debido a que la mayoría de las especies de copépodos poseen cierto grado de omnivoría y otras tantas tienen la capacidad de seleccionar el alimento que consumen (Jónasdóttir et al. 1995, Hay 1995, Saiz et al. 1999). En ambos casos se ha registrado una alta asociación entre la fecundidad y la disponibilidad de alimento, representada por proxies como la concentración de clorofila-a, la cantidad de carbono orgánico particulado (COP), de nitrógeno orgánico particulado (NOP), o por la densidad de microplancton en el medio (Bunker & Hirst 2004). Inclusive se ha desarrollado un debate sobre si las diatomeas tienen o no un efecto en la tasa de producción de huevos y la tasa de eclosión en copépodos (Ban et al. 1997, Irigoyen et al. 2002). Sin embargo, la forma en que cada especies responde ante esta variación estacional, esta relativamente poco documentada, particularmente en ecosistemas subtropicales y tropicales (Hopcroft & Roff 1998).

En general, la temperatura influencia la producción de huevos de los copépodos reduciendo el período de interpuesta y acelerando el ciclo de maduración gonádica conforme se incrementa, modificando por lo tanto, las tasas de fecundidad diaria (Runge 1984, Hirche & Kwasniewski 1997). Además se ha demostrado que en algunas especies la temperatura puede tener una relación inversa con el tamaño de la hembra y su potencial reproductivo (Ban 1994, Halsband–Lenk et al. 2002). Este efecto térmico puede ser significativo en el complejo lagunar de Bahía Magdalena, donde múltiples generaciones de copépodos coexisten en intervalos de temperatura relativamente amplios (17–32 °C) a lo largo del año (Palomares–García & Gómez–Gutiérrez 1996, Palomares–García et al. 2003b).

En México existen relativamente pocos estudios publicados donde se evalúa la producción secundaria en crustáceos planctónicos como los eufáusidos (Lavaniegos-Espejo 1995, Gómez-Gutiérrez et al. 1996, De Silva-Dávila & Palomares-García 1998, De Silva-Dávila & Palomares-García 2002, De Silva-Dávila et al. 2002). En el caso de los copépodos y a pesar de su dominancia numérica en el plancton, los estudios sobre su aporte a la biomasa son relativamente recientes y escasos (Gómez–Gutiérrez et al. 1999, Palomares et al. 2003a). En Bahía Magdalena, Gómez–Gutiérrez et al. (1999) encontraron que la turbulencia generada por el viento puede afectar la variabilidad diaria de la producción de huevos, mientras que para la Bahía de La Paz, Palomares et al. (2003a) identificaron a la advección forzada por la marea y el viento como los principales factores que modifican los niveles de producción de huevos de las especies numéricamente dominantes.

El objetivo de este estudio es examinar cómo se relaciona la fecundidad de las especies de copépodos más frecuentes y abundantes (Acartia clausi, Acartia lilljeborgii, Centropages furcatus, Labidocera trispinosa y Paracalanus parvus) con la concentración de clorofila-a,

la temperatura, y la longitud y el peso del cuerpo de las hembras durante un ciclo anual (2000– 2001) en Bahía Magdalena. Se seleccionaron estas 5 especies de copépodos debido a que por su abundancia la producción de huevos que generan representa uno de los principales procesos de transferencia de energía fijada por el fitoplancton, hacia niveles tróficos superiores (Poulet et al. 1995).

## METODOLOGÍA

Los muestreos de plancton y registro de variables ambientales se realizaron quincenalmente desde junio de 2000 a mayo de 2001 en la estación K<sub>o</sub> (24° 41′ 31" N, 112° 04′ 37" O) de la red de muestreo del CICIMAR-IPN en Bahía Magdalena, Baja California, Sur, México. Esta estación se localiza en el canal de navegación en la porción noroeste de Bahía Magdalena. En cada evento de muestreo, se midió la transparencia del agua utilizando un disco de Secchi y se tomaron muestras de agua a tres niveles: superficie, 7 y 15 m, con una botella Niskin de 5 l. A partir de estas muestras de agua se determinó la temperatura de cada nivel utilizando un termómetro de cubeta. Los datos de temperatura promedio estacional mostrados en la Figura 1, fueron tomados de Palomares-García et al. (2003b) e incluyen los promedios mensuales de esta variable registrados de enero de 1982 a diciembre de 1998 en Bahía Magdalena.

La concentración de clorofila–a (Cl–a) por niveles, se determinó filtrando una porción de la misma agua colectada a niveles, a través de filtros GF/F (0.7  $\mu$ m de poro), los cuales se congelaron para ser analizados espectrofotométricamente mediante previa extracción de los pigmentos en acetona al 90%. La concentración de Cl–a (mg·m<sup>-3</sup>) fue calculada utilizando la ecuación de Jeffrey & Humphrey (1975). La concentración de Cl-a integrada a 15 m fue calculada para determinar la concentración total de pigmentos en mg·m<sup>-2</sup>.

Los volúmenes de plancton (VP) fueron estimados a partir de muestras recolectadas utilizando redes cónicas de diferente diámetro de boca (dos redes de 0.6 m y una de 0.3 m) y de diferente luz de malla (505, 333 y 54  $\mu$ m, respectivamente), provistas de un copo recolector flexible de la misma abertura de malla. Al centro de cada red se colocó un flujómetro mecánico previamente calibrado para determinar los volúmenes de agua filtrada de las muestras de red de 333 y 505 micras. Debido al tamaño menor de la boca de la red de 54  $\mu$ m (30 cm diámetro) a esta no se le colocó un flujometro. Su volumen filtrado se estimó de acuerdo al diámetro de la boca, luz de malla y tiempo de arrastre, y a partir de la comparación con muestreos simultáneos de red de 333  $\mu$ m, estimamos que



Fig. 1. A) Valores de temperatura promedio de la columna de agua y su desviación estándar registrados durante 2000 a 2001 (Prom00–01) y valores promedios mensuales de la serie de tiempo de temperatura registrada en Bahía Magdalena de 1982 a 2001 (PromEst); B) concentración de clorofila–a (Cl–a) por niveles (2000–2001), y C) volúmenes de plancton de red de 505  $\mu$ m (V<sub>505</sub>), de 333  $\mu$ m (V<sub>333</sub>) y de 54  $\mu$ m (V<sub>54</sub>), registrados durante 2000 a 2001

el volumen filtrado con la red de 54  $\mu$ m fué ~19.5% del volumen filtrado con la red de 333  $\mu$ m. Los volúmenes de plancton se estimaron utilizando el método del volumen desplazado (Beers 1976).

Para estimar la producción de huevos (PH) también denominada tamaño de puesta y la tasa de crecimiento específico por producción de huevos (TPH), se recolectaron muestras de zooplancton vivo entre las 6:00 y las 7:00 h, utilizando una red tipo CalCOFI de 0.6 m de diámetro de boca y 333  $\mu$ m de abertura de malla, provista de un copo rígido. Los arrastres subsuperficiales (0–3 m) fueron realizados horizontalmente durante 10–15 minutos con la embarcación a la deriva a fin de evitar dañar a los organismos. La muestra fue vertida suavemente en una hielera llena de agua de mar de la estación de muestreo para su traslado al laboratorio localizado en la Escuela de Estudios de campo (School for Field Studies, Center for Wetland Studies) en Puerto San Carlos.

A partir de estas muestras de zooplancton vivo, se separaron y seleccionaron las hembras maduras (copepodito VI) con apariencia saludable de las siguientes especies de copépodos: Acartia clausi, Acartia lilljeborgii, Paracalanus parvus, Centropages furcatus y Labidocera trispinosa, utilizando un microscopio estereoscópico, pinzas de micro disección y pipetas Pasteur. Se colocaron dos hembras por cada frasco de 250 ml, llenados previamente con agua de mar filtrada (a través de filtros GF/F 0.7  $\mu$ m) de la estación de muestreo para eliminar cualquier tipo de alimento presente, preparando entre 5 y 10 réplicas de cada especie por día de experimento, dependiendo de la disponibilidad de los organismos. Las hembras colocadas en los frascos fueron incubadas por 24 h en la oscuridad, en hieleras conteniendo agua a una temperatura aproximadamente semejante (±1 °C) a la registrada en la estación de muestreo en cada ocasión. Este método asume un periodo de interpuesta  $\sim 24$  h y que los huevos producidos durante la incubación son el producto de la alimentación reciente de las hembras al momento de ser capturadas (Runge & Roff 2000) y debe interpretarse como la biomasa producida por las hembras en las subsecuentes 24 h. Al término de este período, el contenido de cada frasco fue tamizado a través de una malla de 54  $\mu$ m y transferido a una caja de Petri donde inmediatamente se contabilizó el número de huevos producidos para estimar el tamaño de puesta y se midió la longitud total y la del cefalotórax (mm) de las hembras incubadas para la estimación de las tasas de crecimiento específico por producción de huevos.

Para calcular la proporción de carbono generado a partir de los huevos producidos por cada hembra en función de su peso corporal (crecimiento específico por producción de huevos, TPH), se determinó el peso seco de las hembras siguiendo el criterio de Gómez–Gutiérrez et al. (1999), para todas las especies excepto en *Labidocera trispinosa*. Para este último caso, se utilizó la ecuación establecida por Huntley & Lopez (1992). El peso de los huevos en unidades de carbono se determinó utilizando la ecuación:

## $C_{h} = (V) \cdot (1.37 \cdot 10^{-7} \,\mu g \, C \cdot \mu l^{-3})$

Donde  $C_h$  = contenido de carbono por huevo ( $\mu$ g C), V = Volumen del huevo ( $\mu$ l<sup>3</sup>) (calculado en función del diámetro promedio de los huevos de cada especie de copépodo <sup>4</sup>/<sub>3</sub>  $\pi$ ·r<sup>3</sup>) y 1.37·10<sup>-7</sup>  $\mu$ g C· $\mu$ l<sup>-3</sup> = peso promedio de un huevo en carbono por unidad de volumen ( $\mu$ l<sup>3</sup>) (Gomez-Gutierrez & Peterson 1999).

El contenido promedio de carbono de las hembras se asumió como un 45% del peso seco estimado a partir de la relación peso-longitud total de los copépodos (Paffenhöfer & Harris 1976, Parsons et al. 1977). La tasa de crecimiento específico por producción de huevos de las hembras por día (TPH,  $\mu$ g C·H·d<sup>-1</sup>) se calculó de la siguiente forma:

$$TPH = (P_{e}/P_{f}) \cdot (24/T) / n$$

Donde  $P_e$  = peso de los huevos producidos ( $\mu$ g C),  $P_f$  = peso de las hembras ( $\mu$ g C) y T = tiempo de incubación (horas), n = número de hembras incubadas por bote.

Los resultados obtenidos de temperatura, concentración de Cl–a, VP recolectado con las diferentes redes, el peso de los huevos, la producción de huevos, la TPH y el peso de las hembras para cada especie, fueron comparados estadísticamente mediante correlaciones por rangos de Spearman ( $\alpha = 0.05$ ), previa transformación de los datos [Ln(n+1)]. A las 4 últimas variables mencionadas se les aplicó un análisis de factores principales (AFP) usando el parámetro de rotación Varimax normalizado (Preisendorfer 1988) utilizando el software Statistica V6, con la finalidad de determinar la variación temporal de las variables reproductivas de cada especie en función de la variación ambiental a lo largo del año. Se determinó también el coeficiente de correlación (R<sup>2</sup>) entre el número de huevos producido por hembra y la talla de las hembras de cada especie, aplicando una correlación lineal a los datos.

## RESULTADOS

#### Condiciones ambientales

El continúo flujo de las corrientes de marea que tiene lugar en el área de muestreo favorece condiciones de mezcla constante de la columna de agua, independientemente de la estacionalidad, registrándose valores similares de temperatura y concentración de Cla en los tres niveles de profundidad. Ambas variables ambientales y los volúmenes de plancton tuvieron una pronunciada variación estacional (Fig. 1). La variación estacional de la temperatura registrada en la estación K<sub>2</sub> durante el año 2000, mostró un comportamiento cercano al promedio histórico descrito para Bahía Magdalena (1982–1988, 1997–1998) (Palomares–García & Gómez– Gutiérrez 1996, Palomares–García et al. 2003b) en tanto que durante los primeros meses del 2001 las temperaturas registradas estuvieron notablemente por debajo del promedio histórico. La temperatura promedio mostró un rápido incremento de junio (19.2 °C) a agosto (25.8 °C) en el 2000, disminuyendo progresivamente hasta el final del período de estudio en mayo de 2001 (15.3 °C) (Fig. 1A).

Los valores de Cl– $\alpha$  registrados en los tres niveles de profundidad (superficie, 7 y 15 m) mostraron un patrón de variación relativamente inverso a la temperatura a lo largo del período de estudio y mostraron también una correlación negativa con esta última variable ( $r^2 < -0.69$ ,  $\alpha = 0.05$  en los 3 niveles de profundidad). A pesar de la variabilidad quincenal que muestran los datos, se observa una tendencia estacional con dos máximos superficiales, uno a principios del verano en junio (10.3 mg Cl– $\alpha$ ·m<sup>-3</sup>), ambos a 7 m de profundidad (Fig. 1B).

Los volúmenes estandarizados de plancton obtenidos con la red de 54  $\mu$ m fueron los más elevados, incrementándose de manera progresiva desde agosto de 2000 (1 ml · m<sup>-3</sup>) hasta marzo de 2001 cuando se registró un máximo de 18.2 ml·m<sup>-3</sup>. Los valores mas reducidos de biovolumen (< 2 ml·m<sup>-3</sup>) se presentaron durante el período cálido (junio a octubre), mientras que para invierno-primavera (diciembre a mayo) el promedio se incrementó en aproximadamente nueve órdenes de magnitud (Fig. 1C). No se observó una correlación significativa entre la concentración de Cl-*a* y los volúmenes de plancton de red de 54  $\mu$ m, sin embargo, estos últimos se relacionaron inversamente con la temperatura de la columna de agua ( $r^2 = -0.59$ , -0.59,  $-0.61 \alpha = 0.05$  en los 3 niveles de profundidad).

Los volúmenes de plancton recolectados con la red de 333  $\mu$ m fueron considerablemente menores a los registrados en años anteriores en el área de estudio (Palomares–García et al. 2003b). Los dos máximos de volumen de plancton se presentaron en condiciones térmicas contrastantes uno en agosto 2000 (2.36 ml·m<sup>-3</sup>) y otro en febrero y marzo 2001 (3.8 ml·m<sup>-3</sup> y 4.2 ml·m<sup>-3</sup>) (Fig. 1C).

La estructura de la comunidad de zooplancton en Bahía Magdalena regularmente está dominada en términos de abundancia y biomasa por especies mesozooplanctónicas (200–500 micras), explicando de manera general, por qué los volúmenes de plancton obtenidos con la red de 505  $\mu$ m fueron comparativamente menores que los recolectados con la red de 333  $\mu$ m. No obstante, los volúmenes registrados en ambas redes exhibieron una tendencia de cambio estacional similar, con un valor máximo durante el mes de marzo de 2001 pero sin un pico notable en verano (Fig. 1C).

#### Producción de huevos (PH)

Se contabilizó el número de huevos producidos diariamente por hembra (PH, huevos  $H^{-1}\cdot d^{-1}$ ) es decir, se estimó el tamaño de puesta y su peso expresado en unidades de carbono ( $\mu$ g C  $H^{-1}\cdot d^{-1}$ ) para las 5 especies de copépodos estudiados. En promedio, la producción de huevos estimada durante el período de estudio estuvo

por debajo de la producción máxima registrada en estudios previos (Gómez-Gutiérrez et al. 1999); sin embargo, ocasionalmente se registraron algunos valores individuales extremos de huevos producidos, cercanos e incluso superiores a la producción máxima observada previamente para cada especie en el área de estudio (Tabla 1).

Las dos especies del género Acartia alternaron sus máximos poblacionales entre la temporada cálida y la fría y lo mismo parece ocurrir con su producción de huevos. A. lilljeborgii mantuvo una producción promedio anualizada de 14.3 huevos  $H^{-1} \cdot d^{-1}$  (0.53 µg C  $H^{-1} \cdot d^{-1}$ ) (Tabla 1). Esta especie alcanzó su PH máxima (individual) en el período cálido con 57 huevos H<sup>-1</sup>·d<sup>-1</sup> equivalentes en peso a  $2.14 \,\mu \text{g C H}^{-1} \cdot \text{d}^{-1}$ , en coincidencia temporal con las temperaturas más elevadas del año, disminuyendo significativamente su abundancia en la época fría con una ligera disminución en su producción de huevos (Fig. 2). En contraste, A. clausi alcanzó su máximo poblacional durante la época fría (invierno-primavera) cuando se registró una PH máxima (33.5 huevos H<sup>-1</sup>·d<sup>-1</sup>, 1.01  $\mu$ g C H<sup>-1</sup>·d<sup>-1</sup>). Aunque A. clausi tiene en promedio una producción de huevos (10.3 huevos H<sup>-1</sup>·d<sup>-1</sup>, 0.31 µg C H<sup>-1</sup> <sup>1</sup>·d<sup>-1</sup>), relativamente inferior a la de A. lilljeborgii, su PH y su presencia como especie residente en la bahía a lo largo del año, posiblemente tenga un aporte anual más relevante.

*Paracalanus parvus* tuvo densidades poblacionales elevadas solamente durante el período frío, cuando alcanzó su máxima PH (41 huevos H<sup>-1</sup>·d<sup>-1</sup> y 0.9  $\mu$ g C H<sup>-1</sup>·d<sup>-1</sup>), coincidiendo con el máximo de clorofila–*a* (Fig. 1B, Fig. 2). Esta especie mantuvo en general una producción promedio de huevos similar a la de *A. lilljeborgii*, con 16.3 huevos H<sup>-1</sup>·d<sup>-1</sup> equivalentes a 0.36  $\mu$ g C H<sup>-1</sup>·d<sup>-1</sup> (Tabla 1), siendo este, el valor más alto registrado hasta el momento en este complejo lagunar para la especie.

Aunque las dos especies restantes no son consideradas especies residentes de la bahía, aparecen frecuentemente en ella por efecto del intercambio por mareas con la zona nerítica adyacente y el sistema de la Corriente de California. Centropages furcatus apareció de finales de verano hasta principios del invierno. El número de huevos producidos promedio (31 huevos  $H^{-1} \cdot d^{-1}$  y 1.03 µg C H<sup>-</sup> <sup>1</sup>·d<sup>-1</sup>), es muy cercano al máximo valor promedio registrado en febrero de 2002 en esta misma bahía, pero alcanzó una PH máxima individual ligeramente mayor a la registrada para la zona, produciendo 64 huevos H<sup>-1</sup>·d<sup>-</sup>  $^{1}$  equivalentes a 2.14  $\mu$ g C H $^{-1}$ ·d $^{-1}$  (Tabla 1). La presencia de un corion "espinoso" en todos los huevos producidos por las hembras de esta especie indica que éstos fueron fecundados y no se trata de huevos de resistencia (Carlotti et al. 1997).

Labidocera trispinosa aparece a lo largo de todo el año en la bahía pero, a diferencia del resto de las especies analizadas, no mostró una estacionalidad marcada en su producción de huevos. Aunque su máxima PH (120 huevos H<sup>-1</sup>·d<sup>-1</sup>, 12.22  $\mu$ g C H<sup>-1</sup>·d<sup>-1</sup>) coincidió con las más altas temperaturas observadas en el año, también se registraron producciones de huevos relativamente elevadas en el mes de febrero. El promedio anualizado

1	8	0

'labla 1. Promedio de la producción de huevos (PH, huevos·H·d <sup>-1</sup> ) excluyendo a hembras que no produjeron huevos y producción
máxima individual de huevos (PH Max) (huevos H-i·d-i) registrados en nuestro estudio. Promedio anual de la tasa de crecimiento
específico (TPH, µg C H <sup>-1</sup> ·d <sup>-1</sup> ). Producción de huevos máxima observada bajo condiciones de saciedad de alimento en estudios de
laboratorio (*) y de campo(**) (PH Previos) • Datos sin publicar

Especies	PH	PH	TPH	PH	Temp.	Fuente
-		Max		Previos	°C	
-	2.1	11.5			21.0	Febrero 1998, Bahía Magdalena (Gómez–Gutiérrez et al. 1999)**
	4.4	14.0			27.0	Julio 1998, Bahía Magdalena •
	11.3	24.0			19.0	Febrero 2002, Bahía Magdalena •
	8.5	24.0			22.0	Octubre 2002. Bahía Magdalena •
	12.0	20.0			20.0	Febrero 2000, Bahía de La Paz (Palomares–García et al. 2003a)
	10.3	33.5	0.153		15.7-25.8	Este estudio
A. clausi				75.0	18.0	Mediterráneo (Gaudy 1971)**
				70.0	20.0	Estados Unidos (Landry 1978)*
				32.0		Japón (Uve 1981)*
				63.8	17.0	Japón (Ayukai 1988)**
				41.0	15.0	Mediterraneo (Ianora & Scotto di Carlo 1988)*
				30.0	19.5	Ianora and Butino (1990)**
				75.0	14.0	Estados Unidos (Saiz et al. 1992)**
				27.0	21.7	Saiz et al. (1992)*
	6.1	44.0			21	Febrero 1998, Bahía Magdalena (Gómez–Gutiérrez et al. 1999)**.
	13.1	59.0			27	Julio 1998 Bahía Magdalena •
	15.3	36.0			19	Febrero 2002 Bahía Magdalena •
A. lilljeborgii	21.0	112.0			22	Octubre 2002 Bahía Magdalena •
, ,	13.5	36.0			20	Febrero 2000, Bahía de La Paz (Palomares–García et al. 2003a).
	14.3	57.0	0.101		15.7-25.8	Este estudio
				88.0	28	Jamaica (Hopcroft & Roff 1998)**
				96.0	20	Brasil (Ara 2001)**
	13.3	54.0			21.0	Febrero 1998, Bahía Magdalena (Gómez–Gutiérrez et al. 1999)**
	32.1	62.0			19.0	Febrero 2002 Bahía Magdalena •
C. furcatus	12.5	26.0			22.0	Octubre 2002 Bahía Magdalena •
	23.3	34.5			20.0	Febrero 2000, Bahía de La Paz (Palomares–García et al. 2003a)
	31.0	64.0	0.151		15.7-25.8	Este estudio
				120.0	17.0	Japón (Checkley et al. 1992)**
P. parvus	6.4	51.0			21.0	Febrero 1998, Bahía Magdalena (Gómez–Gutiérrez et al. 1999)**
	16.3	41.0	0.115		15.7-25.8	Este estudio
				55.0	17.0	Estados Unidos (Checkley 1980)*
				53.0	19.0	Noruega (Peterson et al. 1991)**
	13.4	37.0			21.0	Febrero 1998, Bahía Magdalena •
	17.3	78.0			27.0	Julio 1998 Bahía Magdalena •
L. trispinosa	19.0	31.0			22.0	Octubre de 2002 Bahía Magdalena •
-	115.9	290.0			20.0	Febrero 2000, Bahía de La Paz (Palomares–García et al. 2003a)
		400.0	0.000			(L. acuta)
	33.4	120.0	0.202		15.7-25.8	Este estudio.

de PH para esta especie fue de 33.4 huevos  $H^{-1} \cdot d^{-1}$  (3.4  $\mu$ g C  $H^{-1} \cdot d^{-1}$ ). La producción de huevos, en términos de peso en carbono de todas las especies, se correlacionó positivamente con el peso de las hembras (Tabla 2).

## Tasa de crecimiento específico por producción de huevos (TPH)

La asociación entre TPH y la talla de las hembras de cada especie, mostró coeficientes de correlación (R<sup>2</sup>) elevados para las hembras de *Acartia clausi, Labidocera trispinosa* y *Paracalanus parvus*, en tanto que la TPH y la talla de las hembras de *A. lilljeborgii* y *C. furcatus* no

mostraron una correlación lineal significativa (Fig. 3), aunque si mostraron una tendencia al incremento en la PH conforme se incrementó la talla corporal.

Acartia clausi mantuvo una TPH relativamente alta a lo largo del año, alcanzando un promedio anual de 0.153  $\mu$ g C H<sup>-1</sup>·d<sup>-1</sup> (Tabla 1). Los valores más altos se registraron en agosto (0.262  $\mu$ g C H<sup>-1</sup>·d<sup>-1</sup>) y en marzo (0.248  $\mu$ g C H<sup>-</sup> <sup>1</sup>·d<sup>-1</sup>) (Fig. 2). El peso de las hembras de esta especie se correlacionó negativamente con la temperatura de la columna de agua (r<sup>2</sup> = < -0.70 para los 3 niveles) (Tabla 2).

Paracalanus parvus y Acartia lilljeborgii tuvieron un promedio anual de  $0.115 \,\mu$ g C H<sup>-1</sup>·d<sup>-1</sup> y  $0.101 \,\mu$ g C H<sup>-1</sup>·d<sup>-1</sup>, respectivamente. La TPH máxima de *P. parvus* fue en febrero ( $0.196 \,\mu$ g C H<sup>-1</sup>·d<sup>-1</sup>), mientras la de *A. lilljeborgii* 



Fig. 2. ○) Tasa de crecimiento específico por producción de huevos de copépodos (TPH) y ▲) peso de las hembras en carbono (CH), estimadas en el área de estudio

fue en septiembre (0.167  $\mu$ g C H<sup>-1</sup>·d<sup>-1</sup>) (Tabla 1, Fig. 2). Los valores de TPH de esta última fueron generalmente inferiores que los de *A. clausi* en los meses en los que ambas especies coincidieron. La TPH de las hembras de *A. lilljeborgii* se correlacionó con el peso de sus hembras (r<sup>2</sup> = 0.52) al igual que en las de *P. parvus* (r<sup>2</sup> = 0.98), aunque en esta última especie, el peso de los huevos, el peso de la hembras y la TPH mostraron una elevada correlación negativa con la temperatura de la columna de agua (r<sup>2</sup> entre –0.82 y –0.85) en los 3 niveles, y una correlación positiva con los volúmenes de plancton recolectados por la red de 54  $\mu$ m (r<sup>2</sup> = 0.58, 0.64 y 0.58) (Tabla 2).

Centropages furcatus registró un valor de TPH promedio anual muy semejante al de *A. clausi* (0.151  $\mu$ g C H<sup>-1</sup>·d<sup>-1</sup>), aunque solamente se presentó en la bahía entre septiembre y febrero. Su TPH máxima se registró en diciembre (0.236  $\mu$ g C H<sup>-1</sup>·d<sup>-1</sup>) (Fig. 2). Las hembras de mayor peso produjeron más huevos (r<sup>2</sup> = 0.94) y presentaron una correlación alta también con su TPH (r<sup>2</sup> = 0.94). Tanto el peso de los huevos, como el peso de la hembras y su TPH mostraron una alta correlación negativa con los volúmenes de plancton recolectados con la red de 333  $\mu$ m (r<sup>2</sup> = -0.51), *Labidocera trispinosa* registró la TPH promedio anualizada más elevada de todas las especies analizadas (0.202  $\mu$ g C H<sup>-1</sup>·d<sup>-1</sup>), registrándose a lo largo de todo el año con importantes variaciones, particularmente durante los meses cálidos en donde la TPH máxima registrada en el mes de agosto fue de 0.755  $\mu$ g C H<sup>-1</sup>·d<sup>-1</sup> (Tabla 1, Fig. 2). El peso de las hembras no mostró ninguna correlación con la TPH, pero si con los volúmenes de plancton recolectados en la red de 505  $\mu$ m (r<sup>2</sup> = 0.50).

#### Análisis de factores principales

El análisis estadístico aplicado a las variables reproductivas de los copépodos y ambientales, mostró que los tres primeros factores explicaron cerca del 80% de la varianza total. El primer factor se relacionó con la temperatura de la columna de agua a lo largo del año (45 % de la varianza explicada); el segundo factor de variabilidad es asociado con los volúmenes de plancton (23 % de la varianza explicada). En los ejes de ambos factores, los valores negativos correspondieron con temperaturas o volúmenes de plancton bajos, mientras que los valores positivos con temperaturas o volúmenes de plancton altos. Finalmente el tercer factor principal (12 % de la varianza explicada), se relacionó con la afinidad templada o cálida de cada especie en la bahía. El diagrama de ordenación multifactorial muestra la separación de Centropages furcatus y Acartia lilljeborgii cuyos variables reproductivas fueron relativamente altas durante los meses de agosto a diciembre con temperaturas

ΓPH = Tasa de	crecin	iiento es	specífico	o por pr de	oducc 333 y	ción de / de 54	huevo µm res	s, y la t pectivaı	empera mente. I	tura de la os valore	a colur es prese	nna de entados	agua y son sigr	os vol	úmenes de vos <b>ló</b> t <0.05	planci )	on: V <sub>505</sub>	, V <sub>333</sub> Y	V <sub>54</sub> =	de red	de 505,
		Tei	mperatı	ıra	Ň	ol. plan	cton		A. claus	si	A.	lilljeboı	gii	L. t	rispinosa		P. parvı	SI		C. furcat	sn
		$0 \mathrm{m}$	7m	$15 \mathrm{m}$	$V_{505}$	$V_{333}$	$V_{54}$	Ch	CH	TPH	Ch	CH	TPH	Ch	CH TPH	Ch	CH	TPH	Ch	CH	TPH
A. clausi	CH CH	-0.68	-0.70	-0.67				0.72													
	TPH							0.91													
	Ch	0.73	0.72	0.72					-0.60		, u										
A. IIIJeuotyii	TPH	0.75	0.75	0.74					-0.60		0.99	0.52									
L. trispinosa	CH CH				0.50									0.53							
	TPH													0.89							
	Ch	-0.85	-0.85	-0.83			0.58		0.67		-0.52	-0.55	-0.55								
P. parvus	CH	-0.84	-0.84	-0.82			0.64		0.68				-0.53			0.99					
	TPH	-0.85	-0.85	-0.82			0.58		0.66			-0.52	-0.51			1.00	0.98				
	Ch					-0.51		-0.57	-0.62			0.60									
C. furcatus	CH					-0.53			-0.54			0.60							0.94		
	HdT					-0.51		-0.57	-0.62			0.60								0.94	

>20 °C. Estas especies aparecieron preferentemente durante el período cálido donde alcanzaron su máximo esfuerzo reproductivo específico, coincidiendo con bajos volúmenes de mesozooplancton (red de 333  $\mu$ m) y macrozooplancton (red de 505  $\mu$ m) (Fig. 4). En contraste, Acartia clausi y Paracalanus parvus alcanzaron su máximo potencial reproductivo en los meses fríos (enero a mayo) cuando la temperatura superficial de la bahía fue menor de 19 °C, asociado con el pico de invierno de Cl–a y el máximo volumen de plancton de 54  $\mu$ m (Fig. 1, 4). Labidocera trispinosa fue la especie que presentó las variables reproductivas más altas separándose del resto de las especies aunque sin una marcada afinidad debida a su contínua presencia en la bahía, con un tamaño de puesta positivamente relacionado con volúmenes altos de macrozooplancton a lo largo del año.

## DISCUSIÓN

Aunque la influencia de la temperatura y la cantidad y calidad del alimento en la variabilidad de los niveles de producción de huevos de los copépodos, tanto en estudios de campo como en laboratorio son contundentes, su efecto relativo ha causado controversia. Las estimaciones de este estudio indican que la producción de huevos de las especies seleccionadas, fueron entre 20-60 % inferiores con respecto a la tasa máxima registrada para cada especie en condiciones de alimento ilimitado (Tabla 1). No obstante, en este estudio, se aprecia un marcado incremento en la producción de huevos de las especies, en relación a estimaciones previas realizadas diariamente en febrero de 1998 (Gómez-Gutiérrez et al. 1999) y en Julio de 1998 (datos sin publicar) en el área de Bahía Magdalena. Este incremento puede estar relacionado con la frecuencia de muestreo de nuestro estudio que a diferencia de los previos, permitió una mayor cobertura de las fluctuaciones estacionales de cada especie.

Gómez-Gutiérrez et al. (1999) mostraron que los cambios de corto plazo (diarios) en la producción de huevos, estuvieron estrechamente relacionados con los niveles de turbulencia generada por viento ó corrientes de marea y en menor medida con la disponibilidad de alimento, en términos de clorofila-a. Esto coincide con lo observado por Palomares-García et al. (2003a) en la Bahía de La Paz, donde cambios importantes de la PH se relacionaron con procesos físicos tales como el transporte producido por corrientes de marea y por la mezcla de la columna de agua inducida por el viento. Aunque esta variabilidad de corto plazo en la producción de huevos, puede ser significativa, es de esperarse que los cambios a escala estacional promuevan un cambio más acentuado en la producción y transferencia de energía a través del ecosistema, más aún en el caso de Bahía Magdalena donde se presenta un marcado cambio estacional. Gómez-Gutiérrez et al. (2001), mencionan que los cambios en la estructura de la comunidad zooplanctónica en la porción profunda de Bahía Magdalena se relacionan estrechamente con la variabilidad estacional del ambiente y en particular con la temperatura y el grado de

Tabla II. Correlación por rangos de Spearman entre los parámetros reproductivos: Ch = Peso de huevos en unidades de carbono. CH = Peso de la hembra en unidades de carbono.

TPH



Fig. 3. Relación talla (mm) vs producción de huevos (PH), de las cinco especies de copépodos dominantes en el área de estudio



Fig. 4. Diagrama de ordenación multifactorial de los parámetros reproductivos de cada especie determinados en este trabajo, en el espacio de tres factores principales. TPH = Tasa específica de crecimiento por producción de huevos, Ch = peso de los huevos en unidades de carbono, PH = Producción de huevos y CH = peso de las hembras en unidades de carbono

estratificación de la columna de agua. Sin embargo, aún bajo condiciones de un evento El Niño, la sucesión estacional de las especies de copépodos dominantes prevalece y representa el mayor cambio en términos de la estructura de la comunidad (Palomares–García & Gómez–Gutiérrez 1996, Palomares–García et al. 2003b).

De acuerdo a lo anterior, los resultados del presente estudio confirman que cada especie responde de forma distinta a los cambios diarios del ambiente (Gómez-Gutiérrez et al. 1999) y expanden esta conclusión de una escala diaria a una escala estacional. En general, la máxima producción de huevos individual (PH Max) de la mayor parte de las especies numéricamente dominantes, coincide con la época donde se han registrado las mayores densidades poblacionales para estas especies: Acartia lilljeborgii y Centropages furcatus en verano-otoño y Paracalanus parvus y Acartia clausi a finales de invierno y primavera (Palomares-García 1992, Palomares-García & Gómez-Gutiérrez 1996, Palomares-García et al. 2003b). En cambio, aquellas que son visitantes frecuentes (Palomares-García 1992) no restringieron su presencia y máxima producción de huevos a una época particular, como es el caso de Labidocera trispinosa.

El promedio anualizado de la producción de huevos de *Acartia clausi* registrado en este estudio, fue muy semejante al promedio más alto registrado para esta especie en el área de estudio durante febrero y octubre de 2002, a una escala diaria (Tabla 1), pero la producción máxima individual fue aproximadamente 140 % superior al máximo observado previamente en Bahía Magdalena. A pesar de ser una especie de afinidad biogeográfica templada, A. clausi presenta una amplia distribución geográfica y su producción de huevos ha sido estimada en una gran diversidad de ambientes, pero siempre en el intervalo de latitud templada a subtropical, aunque sin presentar un gradiente de producción latitudinal definido (Tabla 1). El máximo individual de producción de huevos registrado en este trabajo (33.5 huevos H<sup>-1</sup>·d<sup>-1</sup>), es inferior en un 55 % a los máximos registrado para la especie bajo condiciones de saturación de alimento, tanto en estudios de campo como de laboratorio (18 a 21.7 °C) (Gaudy 1971, Saiz et al. 1992). En Bahía Magdalena, la producción de huevos refleja el grado de limitación que el ambiente impone a esta especie. A. clausi se registró a lo largo del año en Bahía Magdalena, pero su PH promedio durante los meses cálidos de junio a octubre fue comparativamente menor (8.6 huevos  $H^{-1} \cdot d^{-1}$ ) que entre diciembre y mayo (11.8 huevos  $H^{-1} \cdot d^{-1}$ ), manifestándose la estacionalidad y preferencia de la especie por condiciones frías. Durante el verano de 2000, la temperatura en Bahía Magdalena alcanzó los 25.8 °C por lo que los parámetros reproductivos estimados en este trabajo representan el límite térmico superior registrado para experimentos de producción de huevos de esta especie.

La especie de afinidad tropical Acartia lilljeborgii no superó el promedio máximo ni la producción de huevos máxima individual (21 y 112 huevos H<sup>-1</sup>·d<sup>-1</sup> respectivamente) registrados para esta especie en el área durante octubre de 2002. Su producción de huevos máxima individual estuvo significativamente por debajo de la PH máxima (96 huevos H<sup>-1</sup>·d<sup>-1</sup>) registrada para esta especie en aguas tropicales de Brasil a 20 °C (Ara 2001) y de los 88 huevos H<sup>-1</sup>·d<sup>-1</sup>, registrados a 28 °C en Jamaica (Hopcroft & Roff 1998). La producción de huevos promedio de esta especie durante la temporada cálida (junio a octubre) en la bahía fue mayor, alcanzando 15.2 huevos H<sup>-1</sup>·d<sup>-1</sup> comparada con 13.4 huevos H<sup>-1</sup>·d<sup>-1</sup> en la temporada fría, y estuvo positivamente correlacionada con la temperatura superficial del mar contrastando con la afinidad de A. clausi. La PH de A. lilljeborgii parece seguir una tendencia latitudinal incrementándose hacia zonas tropicales más afines a esta especie (Hopcroft & Roff 1998, Ara 2001).

Durante febrero de 1998, el evento El Niño 1997–98 en la PH de *A. clausi* y *A. lillgeborgii* causó una relativamente reducida producción de huevos de estas especies en Bahía Magdalena (Gomez–Gutiérrez et al. 1999). Durante los meses estudiados de 2000 a 2001, los registros ambientales indicaron condiciones cercanas al promedio, lo que quizás favoreció el incremento en la producción de huevos promedio, que se registró en Bahía Magdalena.

El máximo individual de producción de huevos de *Paracalanus\_parvus* registrado en 2000–2001 en Bahía Magdalena (41 huevos H<sup>-1</sup>·d<sup>-1</sup>), fue cercano a los máximos individuales de PH estimados previamente para la especie, tanto en laboratorio como en campo (Checkley 1980, Peterson et al. 1991, Gómez–Gutiérrez et al. 1999).

Sin embargo, el promedio anualizado en Bahía Magdalena es cerca de 2.4 veces superior a lo obtenido por Gómez–Gutiérrez et al. (1999) para la época invernal en esta bahía. La presencia de esta especie en la bahía se limitó a los meses de junio de 2000 y de enero a mayo de 2001. En estos últimos meses, las bajas temperaturas registradas (18.3 °C a 15.7 °C) estuvieron por debajo de los valores promedio estacionales y fueron menores a las registradas por los autores previamente mencionados. Esta condición fría pudo favorecer la presencia de esta especie y su producción de huevos en el área ya que durante el período cálido esta especie registró en promedio 9 huevos H<sup>-1</sup>·d<sup>-1</sup> (único registro en la temporada) que representa casi la mitad del número de huevos producido durante la temporada fría en el área, cuando alcanzó los 16.3 huevos H<sup>-1</sup>·d<sup>-1</sup>. Paracalanus parvus tiene una afinidad templada con una marcada presencia durante el invierno en el área, cuando alcanza sus máximos poblacionales y su mayor potencial reproductivo (Palomares-García et al. 2003b).

Centropages furcatus es una especie que en Bahía Magdalena restringe su presencia al período de mayor influencia de las aguas tropicales de la Corriente Mexicana en la costa occidental de la península de Baja California (Gómez-Gutiérrez et al. 2001). Esta especie presentó una PH máxima en los meses de septiembre de 2000 a febrero de 2001 (24.2 °C a 18.3 °C) muy cercana al máximo registrado anteriormente en el área de estudio, pero tan solo del 50% de la PH registrada previamente para la especie (Checkley 1980) (Tabla 1). A pesar de que C. furcatus está presente solamente una parte del año y que muy probablemente sea introducida a la bahía desde la plataforma continental, ésta especie aporta una cantidad considerable de carbono al sistema (Palomares-García et al. 2003a, b). Su TPH es comparable a la TPH de A. clausi y mayor a la de A. lilljeborgii aunque estas últimas son consideradas como especies numéricamente dominantes en Bahía Magdalena. Sin embargo, estimaciones de fecundidad en copépodos templados del género Centropages: (Centopages hamatus y Centropages typicus), sugieren una mayor fecundidad de las especies de Centropages en relación a la observada para los géneros Acartia y Paracalanus (Dagg 1978, Smith & Lane 1987, Ianora & Scotto di Carlo 1988, Ianora 1990, Fryd et al. 1991, Carlotti et al. 1997).

Este es el primer estudio en aguas mexicanas donde se evalúa la producción de huevos de *Labidocera trispinosa*. Estudios previos sobre la distribución y composición especifica del grupo de los copépodos realizados en Bahía Magdalena, indican la presencia de varias especies del género *Labidocera*, tales como *Labidocera acuta*, *Labidocera acutifrons*, *Labidocera diandra*, *Labidocera johnsoni*, *Labidocera jollae* y *Labidocera trispinosa* (Palomares–García 1992, Hernández–Trujillo et al. 2004, López–Ibarra & Palomares–García 2006), siendo esta última especie la que aparece con mayor frecuencia y abundancia relativa. En general, las especies pertenecientes a este género son preferentemente carnívoras, nunca aparecen con altas densidades poblacionales en el plancton y su distribución suele estar
restringida a la zona profunda, cercana a la entrada de la bahía, donde la influencia de las aguas neríticas se registra con mayor intensidad (Gómez–Gutiérrez et al. 2001, Martínez–Gómez et al. 2007). Aunque su presencia a lo largo del año no indica una estacionalidad definida, su PH en los meses cálidos fue mayor que en la temporada fría (32.7 y 23 huevos  $H^{-1} \cdot d^{-1}$  respectivamente). La TPH de *L. trispinosa* es la más alta de todas las especies estudiadas y su incorporación de carbono al sistema, casi duplica la del resto de las especies en el área. Esto se asocia, con el diámetro comparativamente grande de sus huevos y al tamaño de puesta que duplica y cuadriplica los del resto de las especies analizadas en este estudio.

Las diferencias entre el número de huevos producidos por las especies estudiadas también pueden relacionarse con el tamaño relativo de cada especie. De acuerdo con Tester & Turner (1990), las diferencias interespecíficas en el metabolismo de los copépodos, pueden traducirse en diferentes tiempos de conversión del alimento ingerido, en huevos. De esta forma, la producción de huevos en las especies de mayor talla como Calanus pacificus y Labidocera trispinosa posiblemente sea el producto del alimento ingerido por la hembra en los 2 o 3 días anteriores a la puesta (Kiørboe et al. 1985, Tester & Turner 1990), mientras que la producción de huevos de las especies pertenecientes al género Acartia, Centropages y Paracalanus, depende del alimento ingerido dentro de las 24 horas previas a la puesta (Kiørboe et al. 1985, Stearns et al. 1989, Checkley et al. 1992, Peterson et al. 1991). En este sentido, la biomasa corporal (estimada a partir de la talla) que registran las especies estudiadas fueron de menor a mayor en el siguiente orden: Paracalanus parvus, Acartia clausi, Acartia lilljeborgii, Centropages furcatus y Labidocera trispinosa y con excepción de Paracalanus parvus, cuya PH se vio favorecida por las bajas temperaturas registradas, la escala de la fecundidad en el resto de las especies, siguió el mismo orden. Lo anterior se apoya con las significativas correlaciones positivas encontradas entre el peso de los huevos y el peso de las hembras de todas las especies (Fig. 3).

El efecto del peso corporal sobre la fecundidad (tamaño de la puesta) puede ser explicada directamente por la variabilidad de la temperatura ambiente a una escala estacional (Bunker & Hirst 2004). En el caso de *Acartia clausi y Paracalanus parvus*, ambas mostraron una alta correlación negativa con la temperatura ( $r^2 = -0.68$  y  $r^2 = -0.84$ , respectivamente).

En el caso de *Acartia lilijeborgii*, la baja correlación entre el número de huevos y el peso de las hembras indica una reducida dependencia de la biomasa de la hembra para predecir la fecundidad esperada. Sin embargo la observación de que algunas hembras pequeñas pueden en ocasiones producir tamaños de puesta considerables, puede interpretarse como una mayor contribución de estas hembras pequeñas, al crecimiento poblacional, en un intervalo de tiempo más corto. Esta característica de la especie se traduce en elevadas abundancias durante los meses cálidos del año, siendo la especie dominante de la taxocenosis de Bahía Magdalena en ese período (Palomares–García & Gómez–Gutiérrez 1996, Palomares–García et al. 2003b).

Labidocera trispinosa presentó una clara tendencia al incremento en la PH conforme se incrementó la biomasa de las hembras, con una correlación baja pero significativa entre la producción de huevos y el peso de las hembras (Tabla 2). Sin embargo, esta baja correlación parece estar determinada por la presencia de hembras pequeñas con una alta variación en el tamaño de la puesta durante los meses cálidos, mientras que en la temporada fría sucede algo semejante con hembras comparativamente grandes. De esta forma, en Labidocera trispinosa, se conjugan en una sola especie las dos condiciones anteriores, por un lado esta especie presenta la más alta fecundidad (0.202  $\mu$ g C H<sup>-1</sup>·d<sup>-1</sup>) y por otro no manifiesta una estacionalidad marcada, manteniendo una TPH elevada a lo largo del año siempre y cuando la disponibilidad de alimento sea suficiente (Kiørboe et al. 1985, Tester & Turner 1990).

Gaudy & Veriopoulos (2004), postulan que la talla de los copépodos en ecosistemas semi-cerrados varía en función de los cambios estacionales de la temperatura y en menor grado con la cantidad de clorofila-a. En coincidencia con esta idea, nuestros resultados indican que ninguna de las especies mostró una correlación significativa entre su TPH y la Cl-a como medida del alimento disponible. Sin embargo, las dos especies que alcanzan su máxima producción en el verano (Acartia lilljeborgii) y el invierno (Paracalanus parvus), mantuvieron una alta correlación entre su TPH y la temperatura. Esta marcada estacionalidad, limita los niveles de producción de ambas especies y concuerda con sus bajas tasas promedio de producción de huevos (TPH) (0.153  $\mu$ g C H<sup>-1</sup>·d<sup>-1</sup> y 0.115  $\mu$ g C H<sup>-1</sup>·d<sup>-1</sup>, respectivamente).

Los estudios de corto plazo realizados en Bahía Magdalena, confirman que las hembras del género Acartia tienen una rápida respuesta al incremento en la disponibilidad del alimento (Wiafe & Frid 1996). Esta característica es importante ya que el potencial reproductivo en el medio natural, se encuentra normalmente limitado por la disponibilidad de alimento. A lo largo del período de estudio la concentración de Cla, varió ampliamente y no tuvo una correlación significativa con el peso de las hembras y la cantidad de huevos producidos para ninguna especie a lo largo del año. No obstante, aquellas especies que son omnívoras, pero que consumen preferentemente fitoplancton cuando este es abundante (Acartia clausi y Paracalanus parvus), registraron los mayores promedios de producción de huevos y la máxima producción individual, durante el período frío en coincidencia con los máximos de invierno de Cl–a y de volumen de plancton recolectado con la red de 54  $\mu$ m de luz de malla. En cambio, aquellas especies que presentan omnivoría o carnivoría como Centropages furcatus y Labidocera trispinosa (Ohtsuka & Onbé 1991), mostraron una mayor correlación positiva con los volúmenes de plancton de red de 333  $\mu$ m y de 505  $\mu$ m de abertura de poro.

Las evaluaciones previas de la TPH por especie en Bahía Magdalena, se realizaron durante dos eventos El Niño 97–98 (uno de los mas breves pero intenso del siglo XX) y 2002 (considerado como un evento El Niño débil). El efecto de este proceso climático–oceanográfico fue más evidente al comparar los niveles de producción de las especies de afinidad templada, quienes mantuvieron promedios inferiores al promedio anual observado durante 2000–2001. En cambio la especie de afinidad tropical *Acartia lilljeborgii*, alcanzó su máxima producción de huevos cuando se presentaron condiciones anómalamente cálidas asociadas al evento de El Niño 97–98. Esto se relaciona probablemente con el hecho de ser una especie de origen tropical, que se encuentra en su límite de distribución norte y responde favorablemente al incremento en la temperatura, lo que le permitió alcanzar su máximo potencial reproductivo.

Si se comparan los estudios realizados en el medio natural con aquellos realizados en laboratorio, donde se suministra alimento en concentraciones de sobresaturación, es posible establecer el grado en el que la fecundidad de los copépodos puede estar limitada por la disponibilidad del alimento (Bunker & Hirst 2004). De esta forma, cuando comparamos la tasa de producción de huevos, con respecto a la máxima registrada en condiciones óptimas de laboratorio, observamos que la mayor parte del tiempo la fecundidad observada en el medio natural es generalmente menor, sugiriendo una limitación natural de la biomasa reproductora, controlada por la disponibilidad del alimento. Por ejemplo, durante la época cálida en Bahía Magdalena, un cambio en el tamaño celular y/o calidad nutritiva del fitoplancton asociado al predominio de células pequeñas (nanofitoplancton <20 µm) (Gárate-Lizárraga & Siqueiros-Beltrones 1998) puede significar una menor disponibilidad de alimento, dado que en general el tamaño óptimo de partícula que consumen los copépodos es >20  $\mu$ m (Rollwagen-Bollens &

Penry 2003). Esta limitación puede tener un efecto sinérgico con la temperatura; conforme esta se incrementa, se requiere de un mayor consumo de alimento para compensar el incremento en el gasto metabólico y por consecuencia la energía derivada a la producción de huevos puede disminuir.

Es difícil discernir qué factor tiene mayor influencia sobre la variabilidad del potencial reproductivo de los copépodos en el medio natural. El análisis multivariable sugiere que en Bahía Magdalena la temperatura es el principal factor que regula la producción de huevos de copépodos en Bahía Magdalena a través de su efecto sobre el tamaño corporal de las hembras. Este, se expresa como una correlación inversa entre la talla corporal y la temperatura y sugiere que el tamaño corporal es el principal factor que determina la fecundidad, en tanto que la disponibilidad de alimento (en términos de Cl-a) puede considerarse como un factor no limitante para la mayoría de las especies estudiadas en este complejo lagunar. Esto coincide con lo registrado por diversos autores en regiones con pronunciados contrastes estacionales de las condiciones ambientales como son las zonas templadas (Landry 1978, Uye 1981), y aún en regiones tropicales (Hopcroft & Roof 1988, Ara, 2001). Sin embargo, las mayores tasas de producción de huevos (TPH) se presentaron inmediatamente después o durante el verano e invierno coincidentemente con los máximos volúmenes de plancton de 54 y 333 µm (Fig. 1c, Fig. 5). Esta correspondencia entre los ciclos productivos y la variación estacional de la TPH aportada por los copépodos, indica que ésta, puede ser considerada como un buen indicador de la producción en Bahía Magdalena.

La producción secundaria aportada por la producción de huevos es de alrededor de un 20% del peso corporal de las hembras y el restante 80% se deriva hacia los otros dos componentes de la producción secundaria: la producción de mudas (~15%) y el crecimiento somático (~65%) (Runge & Roff 2000). El presente estudio se ha limitado a evaluar aproximadamente el 20% aportado por la producción de huevos, pero esta parte de la producción esta sujeta a grandes fluctuaciones dependiendo de las condiciones ambientales y la capacidad de respuesta individual de cada población (Ohman & Hirche 2001). Para obtener una evaluación integral de la producción secundaria aportada por los copépodos (cantidad de carbono total producido) en estudios futuros, se requiere evaluar tanto las tasas de producción somática aportadas por las mudas y el crecimiento, como las de huevos, incluyendo el análisis de la abundancia poblacional de las especies.



Fig. 5. Tasa acumulada de crecimiento específico por producción de huevos (TPH) de las 5 especies de copépodos estudiadas en Bahía Magdalena durante 2000 a 2001.
Ac = Acartia clausi, Al = Acartia lilljeborgii, Lt = Labidocera trispinosa, Pp = Paracalanus parvus y Ct = Centropages furcatus. ●) Temperatura superficial del mar (TSM) promedio mensual (°C) durante el período de estudio

Agradecimientos. Los autores agradecen a las autoridades de la Escuela de estudios de Campo (The School for Field Studies, Center for Wetland Studies México, AC) en San Carlos, B.C.S., México, por las facilidades prestadas para la estancia en sus instalaciones durante los muestreos de campo. Asimismo a los integrantes del Departamento de Plancton y Ecología Marina y al personal de apoyo del CICIMAR–IPN que en su momento colaboraron en las actividades de campo y laboratorio: A Carballido–Carranza, J Gómez–Gutiérrez, R Pacheco–Chávez, A Martínez–López, J Hernández–Alfonso. Los autores reciben los apoyos de la Comisión de Operación y Fomento a las Actividades Académicas (COFAA) y del programa de Estímulos al Desempeño en Investigación (EDI) del Instituto Politécnico Nacional. RSD es becaria del Sistema Nacional de Investigadores (SNI).

### LITERATURA CITADA

- Ara K (2001) Daily egg production rate of the planktonic calanoid copepod *Acartia lillgeborgii* Giesbrecht in the Cananéia lagoon estuarine system, São Paulo, Brasil. Hidrobiología 445:205–215
- Armstrong DA, Verheye HM, Kemp AD (1991) Short-term variability during an anchor station study in the southern Benguela upwelling system: Fecundity estimates of the dominant copepod, *Calanoides carinatus*. Progr Oceanog 28:167– 188
- Ayukai T (1988) Egg production of the planktonic calanoid copepod *Acartia omorii* in Onagawa Harbor during spring–summer. Bull Plankton Soc Japan 35:127–132
- Ban S (1994) Effect of temperature and food concentration on postembryonic development, egg production and adult body size of the calanoid copepod *Eurytemora affinis*. J Plankton Res 16:721–735
- Ban S, Burs C, Castel J, Chaudron Y, Cristou E, Escribano R, Fonda–Umani S, Gasparini S, Guerrero–Ruiz F, Hoffmeyer M, Ianora A, Kang HK, Laabir M, Lacoste A, Miralto A, Ning X, Poulet S, Rodríguez V, Runge J, Shi J, Starr M, Uye S, Wang Y (1997) The paradox of diatom–copepod interactions. Mar Ecol Progr Ser 157:287–293
- Banse K (1995) Zooplankton: pivotal role in the control of ocean production. ICES J Mar Sci 52:265–277.
- Beers JR (1976) Volumetric methods. En: Steedman HF (ed) Zooplankton Fixation and Preservation. Monographs on Oceanographic Methodology, No. 4. UNESCO Press, París, p 56–60
- Bunker AJ, Hirst AG (2004) Fecundity of marine planktonic copepods: global rates and patterns in relation to chlorophyll a, temperature and body weight. Mar Ecol Prog Ser 279:161– 181
- Carlotti F, Rey C, Javanshir A, Nival S (1997) Laboratory studies on egg and fecal pellet production of *Centropages typicus*: effect of age, effect of temperature, individual variability. J Plankton Res 19:1143–1165
- Checkley DM Jr (1980) The egg production of a marine planktonic copepod in relation to its food supply: Laboratories studies. Limnol Oceanogr 25:430–446
- Checkley DM Jr, Dagg MJ Jr, Uye S (1992) Feeding, excretion and egg production by individuals and population of the marine, planktonic copepods, *Acartia* spp. and *Centropages* furcatus. J Plankton Res 14:71–97
- Dagg M (1978) Estimated in situ rates of eggs production for the copepod Centropages typicus (Kroyer) in the New York Bight. J Exp Mar Biol Ecol 34:430–446

- De Silva–Dávila R, Palomares–García R (1998) Unusual larval growth production of *Nyctiphanes simplex* in Bahía de La Paz, Baja California Sur, México. J Crust Biol 18:490–498
- De Silva–Dávila R, Palomares–García R (2002) Distributional patterns of the euphausiid community in Bahía de La Paz, B.C.S., México. En: Hendrickx ME (ed) Contributions to the Study of the East Pacific Crustaceans 1. Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, Universidad Nacional Autónoma de México, p 109–125
- De Silva–Dávila R, Palomares–García R, Martínez López A, Carballido Carranza MA (2002) Standing stock of *Nyctiphanes simplex* in the southern region of the California Current System. J Plankton Res 24(10):1057–1066
- Fryd M, Ole HH, Ole W (1991) Development, growth and egg production of the two copepod species *Centropages hamatus* and *Centropages typicus* in the laboratory. J Plankton Res 13:683–689
- Gárate–Lizárraga I, Siqueiros–Beltrones DA (1998) Time variation in phytoplankton assemblages in a subtropical lagoon system after the 1982–1983 "El Niño" event (1984 to 1986). Pac Sci 5:79–97
- Gaudy R (1971) Étude expérimentale de la ponte chez trois espèces de copépodes pélagiques (*Centropages typicus*, *Acartia clausi* et *Temora stylifera*). Mar Biol 9:65–70
- Gaudy R, Veriopoulos G (2004) Spatial and seasonal variation in size, body volume and body proportion (prosome: urosome ratio) of the copepod *Acartia tonsa* in a semi–closed ecosystem (Berre lagoon, western Mediterranean). Hydrobiologia 513:219–229
- Gómez–Gutiérrez J, De Silva–Dávila R, Lavaniegos–Espejo B (1996) Growth production of the euphausiid *Nyctiphanes simplex* on the coastal shelf off Bahía Magdalena, Baja California Sur, México. Mar Ecol Prog Ser 138:309–314
- Gómez–Gutiérrez J, Peterson WT (1999) Egg production rates of eight calanoid copepod species during the summer 1997 at Newport Oregon, USA. J Plankton Res 21:637–657
- Gómez–Gutiérrez J, Palomares–García R, De Silva–Dávila R, Carballido–Carranza MA, Martínez–López A (1999) Copepod daily egg production and growth rates in Bahía Magdalena, México. J Plankton Res 12:2227–2244
- Gómez–Gutiérrez J, Palomares–García R, Hernández–Trujillo S, Carballido–Carranza A (2001) Community structure of zooplankton in the main entrance of Bahía Magdalena, México during 1996. Rev Biol Trop 49(2):545–558
- Halsband–Lenk C, Hirche HJ, Carlotti F (2002) Temperature impact on reproduction and development of congener copepod populations. J Exp Mar Biol Ecol 271:121–153
- Hay S (1995) Egg production and secondary production of common North Sea copepods: Field estimates with regional and seasonal comparisons. ICES J Mar Sci 52:315–327
- Hernández–Trujillo S, Palomares–García P, López–Ibarra GA, Esqueda–Escárcega G, Pacheco–Chávez R (2004) Riqueza específica de copépodos en Bahía Magdalena, Baja California Sur, México. Anales Inst. Biol. Univ. Nac. Autón. Méx. Ser Zool 75(2):253–270
- Hirche HJ, Kwasniewski S (1997) Distribution, reproduction and development of *Calanus* species in the Northeast water in relation to environmental conditions. J Mar Sist 10:299–317
- Hopcroft RR, Roff JC (1998) Zooplankton growth rates: the influence of female size and resources on egg production of tropical marine copepods. Mar Biol 132:79–86
- Huntley ME, Lopez MDG (1992) Temperature–dependent production of marine copepods: a global synthesis. Am Nat 140:201–242
- Ianora A, Scotto di Carlo B (1988) Observations on egg production rates and seasonal changes in the internal morphology of Mediterranean populations of *Acartia clausi* and

Centropages typicus. J Plankton Res 12:885–890

- Ianora A (1990) The effect of reproductive condition on egg production rates in the planktonic copepod *Centropages typicus*. J Plankton Res 12:885–890
- Ianora A, Buttino I (1990) Seasonal cycles in population abundance and egg production rates in the planktonic copepod *Centropages typicus* and *Acartia clausi*. J Plankton Res 12:473–481
- Irigoien X, Harris RP, Verheye HM, Joly P, Runge J, Starr M, Pond D, Campbell R, Shreeve R, Ward P, Smith AN, Dam HG, Peterson W, Tirelli V, Koski M, Smith T, Harbour D, Davidson R (2002) Copepod hatching success in marine ecosystems with high diatom concentrations. Nature 419 (6905):387–389
- Jeffrey SW, Humphrey GF (1975) New spectrophotometric equation for determining chlorophyll's a, b, c1, and c2 in algal phytoplankton and higher plants. Biochem Physiol Psfanzen 167:191–194
- Jónasdóttir SH, Fields D, Pantoja S (1995) Copepod egg–production in Long–Island Sound, USA, as a function of the chemical–composition of seston. Mar Ecol Prog Ser 119:87– 98
- Kiørboe T, Møhlenberg F, Hamburger K (1985) Bioenergetics of the planktonic copepod Acartia tonsa: relation between feeding, egg production and respiration, and composition of specific dynamic action. Mar Ecol Prog Ser 26:85–97
- Kiørboe T, Nielsen TG (1994) Regulation of zooplankton biomass and production in a temperate, coastal ecosystem. 1. Copepods. Limnol Oceanogr 3:493–507
- Landry MR (1978) Population dynamic and production of a planktonic marine copepod, *Acartia clausii*, in a small temperate lagoon on San Juan Island, Washington. Int Revue Ges Hidrobiol 63:77–120
- Lavaniegos–Espejo B (1995) Production of the euphausiid Nyctiphanes simplex in Bahía Vizcaíno western Baja California. J Crust Biol 15:444–453
- Liang D, Uye S, Onbe T (1994) Production and loss of eggs in the calanoid copepod *Centropages abdominalis* Sato in Fukuyama Harbor, the Inland Sea of Japan. Bull Plankton Soc Japan 41:131–142
- Longhurst AR (1967) Diversity and trophic structure of zooplankton communities in the California Current. Deep Sea Res 14:393–408
- López–Ibarra AG, Palomares–García JR (2006) Estructura de la taxocenosis de copépodos en Bahía Magdalena, B.C.S., México, durante El Niño 1997/98. Rev Biol Mar Oceanog 41:63–76
- Marcus N (1984) Recruitment of copepod nauplii into the plankton: the importante of diapause eggs and benthic processes. Mar Ecol Progr Ser 15:47–54
- Martínez–Gómez S, Gómez–Gutiérrez J, Robinson C (2007) Transporte de las agregaciones de zooplancton a través de la boca de Bahía Magdalena asociado a corrientes y frentes de marea. En: Funes–Rodríguez R, Palomares–García R, Gómez–Gutiérrez J (eds) Estudios Ecológicos en Bahía Magdalena Instituto Politécnico Nacional, México p 189-203
- Ohtsuka S, Onbé T (1991) Relationship between mouthpart structures and in situ feeding habits of species of the family Pontellidae (Copepoda: Calanoida). Mar Biol 111:213–225
- Ohman M D, Hirche H J (2001) Density-dependent mortality in an oceanic copepod population. Nature 412:638-641
- Palomares–García R (1992) Analysis of the taxocenosis of copepods in the lagoon complex Magdalena–Almejas bay, B.C.S., in 1985–1986. Cienc Mar 18:71–92
- Palomares–García R, Gómez–Gutiérrez J (1996) Copepod community structure at Bahía Magdalena, Mexico during El Niño 1983–1984. Estuar Coast Shelf Sci 43:583–595

- Palomares–García R, Martínez–López A, De Silva–Dávila R (2003a) Winter egg production of four calanoid copepod species in Bahía de La Paz, México. En: Hendrickx ME (ed) Contributions to the Study of East Pacific Crustaceans 2. Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, Universidad Nacional Autónoma de México, p 139–152
- Palomares–García R, Martínez–López A, De Silva–Dávila R, Funes–Rodríguez R, Carballido–Carranza MA, Avendaño– Ibarra R, Hinojosa–Medina A, López–Ibarra GA (2003b) Biological effects of El Niño 1997–98 on a shallow subtropical ecosystem: Bahía Magdalena, México. Geof Int 42(3):455– 466
- Palomares–García R, Bustillos–Guzmán J, Band–Schmidt CJ, López–Cortés D, Luckas B (2006) Efecto del dinoflagelado tóxico Gymnodinium catenatum sobre el consumo, la producción de huevos y la tasa de eclosión del copépodo Acartia clausi. Cienc Mar 32(1B):111–119
- Paffenhöfer GA, Harris RP (1976) Feeding, growth and reproduction on the marine planktonic copepod *Pseudocalanus elongatus* Boeck. J Plank Res 56(1):327–344
- Parsons TR, Takahashi M, Hargrave B (1977) Biological oceanographic processes. Second edition. Pergamon Press, Oxford
- Peterson WT, Tiselius P, Kiørboe T (1991) Copepod egg production, molting and growth rates and secondary production in the Skagerrak in August 1988. J Plankton Res 13:131–154
- Poulet SA, Ianora A, Laabir M, Klein–Breteler WCM (1995) Towards the measurement of secondary production and recruitment in copepod. ICES J Mar Sci 52:359–368
- Preisendorfer RW (1988) Principal component analysis in meteorology and oceanography. Developments in atmospheric science. Elsevier, Amsterdam, Holland
- Rollwagen–Bollens GC, Penry DL (2003) Feeding dynamics of *Acartia* spp copepods in a large, temperate estuary (San Francisco Bay, CA). Mar Ecol Prog Ser 257:139–158
- Runge JA (1984) Egg production of the marine planktonic copepod *Calanus pacificus* Brodsky: laboratory observations J Exp Mar Biol Ecol 74:53–66
- Runge JA, Roff JC (2000) The measurement of growth and reproductive rates. En: Harris RP, Wiebe PH, Lenz J, Skjoldal HR, Huntley M (eds) ICES Zooplankton methodology Manual. Academic Press, p 401–454
- Saiz E, Alcaraz M, Paffenhöfer GA (1992) Effects of small–scale turbulence on feeding rate and gross–growth efficiency of three *Acartia* species (Copepoda: Calanoida). J Plankton Res 14(8):1085–1097
- Saiz E, Calbet A, Irigoyen X, Alcaraz M (1999) Copepod egg production in the western Mediterranean: response to food availability in oligotrophic environments Mar Ecol Prog Ser 187:179–189
- Smith SL, Lane PVZ (1987) On the life history of *Centropages typicus*: response to a fall diatom bloom in the New York Bight. J Exp Mar Biol Ecol 141:255–271
- Stalder L, Marcus NH (1997) Zooplankton responses to hypoxia: behavioral patterns and survival of three species of calanoid copepods. Mar Biol 127:599–608
- Stearns DE, Tester PA, Walker RL (1989) Diel changes in the egg production rate of *Acartia tonsa* and related environmental factors in two estuaries. Mar Ecol Prog Ser 52:7–16
- Tester PA, Turner JT (1990) How long does it take copepods to make eqgs? J Exp Mar Biol Ecol 141:169–182
- Uye S (1981) Fecundity studies of neritic calanoid copepods *Acartia clausi* Giesbrecht and *A. steueri* Smirnov: a simple empirical model of daily egg production. J Exp Mar Biol Ecol 50:255–271
- Wiafe G, Frid CL (1996) Short–term temporal variation in coastal zooplankton communities: the relative importance of physical and biological mechanisms. J Plankton Res 18(8):1481– 1501

Palomares–García R, De Silva–Dávila R (2007) Variación estacional de la producción de huevos de copépodos en Bahía Magdalena. En: Funes-Rodríguez R, Gómez-Gutiérrez J, Palomares-García R (eds) Estudios ecológicos en Bahía Magdalena. CICIMAR-IPN, La Paz, Baja California Sur, México, p 175-188

## Transporte de agregaciones de zooplancton a través de la boca de Bahía Magdalena asociado a corrientes y frentes de marea

Samuel Martínez–Gómez<sup>1,\*</sup>, Jaime Gómez–Gutiérrez<sup>1</sup>, Carlos J. Robinson<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Departamento de Plancton y Ecología Marina. Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas, Instituto Politécnico Nacional, Av IPN s/n. Col Playa Palo de Sta. Rita, AP 592, La Paz, 23096, Baja California Sur <sup>2</sup> Laboratorio de Ecología de Pesquerías. Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, Universidad Nacional Autónoma de México, AP 70–305, México, DF. 04510

RESUMEN: Se analiza la distribución, abundancia y estructura de la comunidad del zooplancton a través de la boca de Bahía Magdalena (24° 31'N, 112° 02'W) con énfasis en las agregaciones que ocurren en un frente de marea durante mareas vivas y muertas en Julio 2004. Durante mareas vivas se registraron elevadas concentraciones de biomasa zooplanctónica, numéricamente dominada por el copépodo de afinidad templada Calanus pacificus (<15 m de profundidad), a lo largo del frente de marea y zonas contiguas (<150 m). Los datos hidrográficos e hidroacústicos demostraron que el frente de marea fue más intenso durante mareas vivas que durante mareas muertas, transportando zooplancton de la plataforma continental hasta aproximadamente 6 km al interior de la bahía. Estas agregaciones de zooplancton atrajeron y concentraron numerosos depredadores zooplanctófagos que se distribuyeron en toda la columna de agua. Durante mareas muertas C. pacificus fue co-dominante junto con Paracalanus spp. (Paracalanus parvus y Paracalanus acuelatus) típicas de la parte interior de la bahía. Se propone un modelo conceptual que define el frente de marea como una estructura oceanográfica superficial semidiurna que ocurre con mayor magnitud durante el periodo de mareas vivas (~9 días consecutivos). Este proceso parece tener un impacto relevante en la trofodinámica de la región mas profunda de Bahía Magdalena, particularmente para especies nectónicas como las langostillas, cardúmenes de sardinas, macarelas que se alimentan activamente de zooplancton y sus depredadores tope. Estimamos que la cantidad integrada de biomasa de zooplancton que típicamente penetra en Bahía Magdalena durante una fase de flujo (6 h) en mareas vivas fue de 3,748 t 6 h<sup>-1</sup> (95% de intervalo de confianza = 1,572 a 5,925 t 6 h<sup>-1</sup>). Esta biomasa es transportada por el prisma de marea delimitada por el frente de marea en la parte profunda de Bahía Magdalena y puede representar una capacidad de carga teórica de  $\sim$ 374 t 6 h $^{-1}$  de organismos zooplanctófagos.

PALABRAS CLAVE: Agregación superficial  $\cdot$  Frente de marea  $\cdot$  Marea  $\cdot$  Estructura de la comunidad  $\cdot$  Zooplancton

ABSTRACT: The distribution, abundance and community structure of the zooplankton across the mouth of Bahía Magdalena (24° 31'N, 112° 02'W) is analyzed with emphasis on zooplankton surface aggregations along the tidal front during spring and neap tides in July 2004. During spring tides were observed enhanced zooplankton biomass and dense monospecific zooplankton surface aggregations (~15-m thick) along the tidal front band ( $\sim$ 150 m at each side of the front), mostly composed by the temperate copepod Calanus pacificus. Hydrographic and acoustic records showed that the tidal front was more pronounced and intense during spring tides than during neap tides, transporting zooplankton from the continental shelf to  $\sim 6$  km inside the bay. Those aggregations usually attracted and concentrated numerous zooplanktophagous predators distributed throughout the water column. During neap tides C. pacificus co-dominated with Paracalanus spp. (Paracalanus parvus y Paracalanus aculeatus), typically abundant inside the bay. We propose a conceptual model that defines the tidal front as a surface semidiurnal oceanographic structure that is more intense during spring tide than during neap tide (nine consecutive days). This process has a relevant impact in the trophodynamic in the deeper part of Bahía Magdalena. We demonstrated the ecological role of the tidal front dynamics as relevant feeding areas of zooplanktophagous red crabs, small pelagic fish schools (sardine and mackerel) and other key nekton species, but these also are actively preyed by its top predators. The estimated amount of zooplankton biomass that typically enters into Bahía Magdalena integrated during flowing tide (6 h) at spring tides was about 3,748 t 6 h<sup>-1</sup> (95% confidence interval = 1,572 to 5,925 t 6 h<sup>-1</sup>). This biomass is transported by the tidal prism delimited by the tidal front in the deeper part of Bahía Magdalena and may represents a theoretically carrying capacity of  $\sim$  374 t 6 h<sup>-1</sup> of zooplanktophagous organisms.

KEY WORDS: Surface aggregation  $\cdot$  Tidal front  $\cdot$  Tide  $\cdot$  Community structure  $\cdot$  Zooplankton

### INTRODUCCIÓN

La plataforma continental de Bahía Magdalena en el Pacífico Mexicano está influenciada por intensas corrientes y procesos de mezcla causados por la marea, circulación oceánica forzada por el viento y corrientes de gradiente horizontal que forman un complejo patrón de flujo hidrodinámico (Zaytsev et al. 2003). En la región cercana a la boca de la bahía, periódicamente se forma un frente de marea debido a un intenso gradiente en sus propiedades fisicoquímicas y biológicas entre los tipos de aqua de la plataforma continental y el interior del sistema lagunar (Robinson & Gómez–Aguirre 2004). Este es delineado por cambios abruptos en coloración del aqua superficial, temperatura, salinidad, oxígeno disuelto y concentración de clorofila (Gómez-Gutiérrez & Robinson 2006). En general, las regiones de frentes son comúnmente consideradas como zonas con elevada biomasa de fitoplancton, zooplancton y necton por procesos de concentración, e intensificación en la entrada de nutrientes que promueven la producción primaria y secundaria (Pingree et al. 1977, Yamamoto et al. 1981, Holligan et al. 1984, Smith et al. 1986, Franks 1992, Gómez–Gutiérrez & Hernández Trujillo 1994, Bakun 1996, Zervoudaki et al. 2007).

Los frentes se han clasificado como (1) frentes oceánicos, (2) frentes originados por las descargas fluviales (estuarios), (3) frentes en los bordes de remolinos ciclónicos y anticiclónicos, (4) frentes de surgencia costera y (5) frentes de marea entre otros (Owen 1981, Bakun 1996). Los frentes oceánicos son estructuras físicas que varían en estabilidad espacio-temporal con una duración que fluctúa desde horas hasta meses, estos últimos considerados como frentes "semi-permanentes" como es el caso del frente oceánico de Cabo San Lucas (Griffiths 1963, 1965, Gómez–Gutiérrez & Hernández Trujillo 1994). A pesar de que ocurren en regiones relativamente restringidas (<1% del área del Pacífico Norte), estos son sistemas ecotonales con elevada biodiversidad y biomasa planctónica y nectónica. Recientemente han sido considerados como áreas críticas (hot spots, en inglés) que requieren ser propuestos en iniciativas de reservas ecológicas (Etnoyer et al. 2004, 2006). Es importante señalar que el sistema frontal que se localiza en la parte oceánica frente a Bahía Magdalena Baja California Sur es el más estable del Pacífico Norte (Etnoyer et al. 2004), con permanencia de más de nueve meses. Su presencia se debe a la convergencia de agua fría de la Corriente de California (CC) y agua relativamente calida que fluye hacia el norte por la Corriente Nor-Ecuatorial. En esta región se concentran algunas especies nectónicas críticas como tortugas, marlín y ballena azul con tiempos de permanencia del orden de 15 a 30 días (Etnoyer et al. 2004). Sin embargo, el gradiente térmico que deben detectar los organismos para localizar el frente oceánico es relativamente pequeño (0.01 a 0.10 °C km<sup>-1</sup>) sugiriendo que los algoritmos límites de detección (usando criterios de gradientes >0.10 °C km<sup>-1</sup>) pueden enmascarar el habitat pelágico en aguas tropicales (Etnoyer et al. 2006).

A pesar de que Owen (1981) consideró que los frentes

de marea tienen una existencia relativamente efímera, éstos han sido considerados como áreas relevantes de alimentación de especies marinas costeras que habitan en lagunas y estuarios. Sin embargo, en general no existen trabajos que estudien el transporte, acumulación del zooplancton y estructura de la comunidad asociada con frentes de marea en cuerpos lagunares costeros en México, aunque existen estudios en ecosistemas semejantes en otras partes del mundo (Grimes & Finucane 1991, Uye et al. 1992).

El sistema lagunar Bahía Magdalena–Bahía Almejas (BM–BA) es uno de los ecosistemas económicamente más influyentes del Noreste del Pacífico Mexicano porque sostiene la pesquería de peces pelágicos menores más importante del Estado de Baja California Sur (Félix-Uraga et al. 1996). Esto estimuló que a partir de 1980 se iniciara la prospección mensual de plancton de manera sistemática por parte del departamento de Plancton y Ecología del CICIMAR (1980-1989, 1997-1998). En estos muestreos realizados en Bahía Magdalena han sido ocasionalmente observadas elevadas concentraciones superficiales de zooplancton en la parte más cercana a la boca de Bahía. Sin embargo, en ese entonces no podían ser explicados los procesos causales de estas elevadas biomasas posiblemente por su aparición esporádica y poco predecible (Palomares-García & Haro-Garay com. pers.).

Zaytsev et al. (2003) sugirieron la hipótesis de que los eventos de surgencias que ocurren cerca de la boca de Bahía Magdalena, acoplados a los procesos de flujo y mezcla de marea, crean las condiciones adecuadas para el transporte de considerables cantidades de nutrientes y plancton al interior de la bahía, debido en parte a su relativamente estrecha plataforma continental y relativamente pronunciada pendiente. Esta hipótesis fue recientemente confirmada por observaciones hidroacústicas que muestran que, con una tasa de flujo instantánea de agua hacia el interior de la bahía de 172000 m<sup>-3</sup> s<sup>-1</sup> en la fase de flujo (Sánchez-Montante 2004), la corriente de marea puede introducir hasta 74 t de eufáusidos (principalmente Nyctiphanes simplex) en un ciclo completo de marea viva desde la plataforma continental a la parte profunda de BM (Gómez-Gutiérrez & Robinson 2006). En cruceros oceanográficos recientes, Robinson et al. (2004) y Robinson & Gómez-Aquirre (2004) identificaron, mediante registros continuos de temperatura y fluorescencia la formación de un frente de marea que ingresa a la bahía dos veces por día (periodicidad semidiurna). A partir de estas observaciones, se propone la hipótesis que existen diferencias notables en la biomasa y estructura de la comunidad del zooplancton entre el frente de marea y las zonas alejadas al frente. Para poner a prueba ésta hipótesis se estimó la variación espacio-temporal de la biomasa y los grupos dominantes del zooplancton en relación con la dinámica del frente de marea en la plataforma continental, la boca principal de la bahía y la parte interna de Bahía Magdalena durante un ciclo circadiano de mareas vivas y muertas en verano (Julio 2004), cuando el frente de marea suele manifestarse con

mayor intensidad (Gómez–Gutiérrez & Robinson 2006). Parte de este capitulo resume los resultados informados en Gómez–Gutiérrez et al. (2007).

### MATERIALES Y MÉTODOS

Del 29 de junio al 15 de julio del 2004 se realizó un crucero oceanográfico a bordo del B/O El Puma (UNAM) en la plataforma continental, boca de la bahía y la parte interna más profunda de Bahía Magdalena (Figs. 1 A,B). En este estudio se siguieron dos estrategias de muestreo de zooplancton y registro de las condiciones ambientales: (1) muestreo a meso escala (~18 km) que incluye la región de la plataforma continental, la boca y la parte interior profunda de Bahía Magdalena donde en principio habitan comunidades de especies típicas de cada uno de estos dos ambientes marinos y (2) muestreo a pequeña escala a través del frente de marea (< 300 m).

Muestreo de mesoescala: variación circadiana de las condiciones ambientales a través de la boca de Bahía Magdalena. A lo largo de un transecto perpendicular a la boca de Bahía Magdalena (18 km de largo) se registraron datos de oxígeno disuelto (mg l<sup>-1</sup>), fluorescencia (voltios, V) y temperatura (°C) en cinco estaciones oceanográficas equidistantes iniciando en la plataforma continental (estaciones 1 y 2), siguiendo en la boca de Bahía Magdalena (estación 3) hasta la porción más interna de la bahía (estaciones 4 y 5) (Fig. 1B). Este transecto usualmente se recorrió de ida y vuelta en aproximadamente 4 horas y media y se repitió al menos cuatro veces durante un ciclo circadiano durante mareas vivas (30 Junio, 18:30 h al 1 de Julio a las 21:43 h) y también durante mareas muertas (8 de Julio a las 05:23

### h al 9 de Julio a las 05:10 h).

En cada una de las 5 estaciones oceanográficas se registró la conductividad, temperatura y profundidad con un CTD y se recolectaron muestras de aqua mediante botellas tipo Niskin (10 L de capacidad). Estas fueron cerradas a distintas profundidades (superficie, 5, 10, 15, 20, 25 30, 40, 50 y 75 m) para medir la concentración de oxígeno disuelto y fluorescencia. Las muestras de agua fueron llevadas al laboratorio acondicionado con luz roja y temperatura constante para medir la fluorescencia. Los datos de temperatura y concentración de O<sub>2</sub> fueron registrados cada cinco segundos usando un sensor Win-Situ 9000 multi-paramétrico instalado en el pozo de instrumentos del B/O El Puma, el cual fue calibrado con mediciones de temperatura y concentración de oxígeno medidos por otros sensores al menos en dos ocasiones durante el crucero. Aunque el sensor de O<sub>2</sub> continuo Win-Situ 9000 multi-paramétrico registró concentraciones relativamente más elevadas que, el sensor YSI utilizado en las muestras de agua recolectada con botellas Niskin, los cambios relativos de la concentración de oxígeno son relevantes para caracterizar el ambiente a través del frente de marea. La fluorescencia fue registrada cada cinco segundos con un fluorómetro 10-AU-005-CE con una señal de excitación de 340–500 nm, y emisión > 665 nm. Las mediciones fueron comparadas con muestras de control (agua destilada). El agua muestreada fue bombeada de la toma de agua limpia localizada en la proa del buque desde una profundidad de  $\sim$  4 m.

Muestreo de pequeña escala: caracterización de un frente de marea. El frente de marea fue localizado en principio visualmente de acuerdo al pronunciado cambio de coloración del agua superficial, que es típicamente de color verde en el tipo de agua de la bahía y azul oscuro



Fig. 1. (A) Estaciones oceanográficas localizadas sobre la plataforma continental y en el interior de la bahía. (B) Zona de muestreo a través del frente de marea y a ambos lados del frente (~150 m) y transectos paralelos a la boca; la numeración indican las estaciones donde se obtuvieron los perfiles verticales de las variables oceanográficas. B–FM = zona cercana al frente de marea del lado de la bahía, FM = zona del frente de marea, PC–FM = zona cercana al frente de marea del lado de la plataforma continental

en el tipo de agua de la plataforma continental. La acumulación superficial de algas, zooplancton, pastos marinos, hojas de mangle, langostillas pelágicas y la agregación de aves marinas (principalmente gaviotas, petreles y pelícanos) fueron criterios adicionales útiles para localizar el frente de marea. El buque oceanográfico realizó un recorrido en forma de zig-zag atravesando el frente de marea seis veces a una velocidad promedio de 8 km h<sup>-1</sup>. El frente de marea fue confirmado en tiempo real por registros de oxígeno disuelto, fluorescencia y temperatura de agua bombeada de 4 m de profundidad que fueron medidos con sensores cada cinco segundos. De forma simultánea mientras se realizaba el recorrido en zig-zag se registró la capa de dispersión de sonido en la columna de agua causada por el macrozooplancton, micronecton y peces, mediante un ecosonda Simrad EY-60 de 120 kHz de frecuencia. La presencia de mesozooplancton (<10 mm longitud) también fue detectada mediante un Perfilador de Corrientes Acústico Doppler (ADCP) marca Sontek de 250 kHz de frecuencia. Este ADCP es originalmente utilizado para medir la dirección y velocidad de la corriente. Una vez terminado el muestreo en zig-zag se procedió a realizar 3 lances de CTD en el frente de marea y a cada lado del mismo. Los gradientes horizontales de alta resolución a 4 m de profundidad del oxígeno disuelto (mg l-1) y la temperatura (°C) se midieron con un sensor multi-paramétrico Win situ 9000 y la fluorescencia fue medida cada cinco segundos (semejante a lo descrito anteriormente).

**Evolución temporal del frente de marea en la parte profunda de Bahía Magdalena, detectado por temperatura.** Para detectar los cambios temporales de alta resolución (<4 h) del frente de marea se realizo un circuito en el cual se registraron datos continuos (cada 5 segundos) de temperatura, concentración de oxígeno y fluorescencia a través de cuatro transectos perpendiculares a la boca (2.5 km de longitud cada uno) (Fig 1B). En este capitulo se muestran solamente los datos de temperatura (Fig. 7 A-N). La variacion estacional (Dic 2003, Mar, Jul y Dic 2004) de la temperatura y fluoresciencia de estos transectos en la parte profunda de Bahía Magdalena es mostrada en Robinson et al. (2007).

Variación de la biomasa zooplanctónica y de la estructura de la comunidad a pequeña y mesoescala. Para cuantificar la biomasa zooplanctónica e identificar la composición específica de las agregaciones de zooplancton se recolectaron 15 muestras de zooplancton en el frente de marea y a ambos lados del mismo (en cuatro localidades del frente de mareas, con repetición en una de ellas) a una distancia aproximada de  $\sim 150$ metros del frente de marea (Fig. 1 B). Los muestreos se realizaron verticalmente con una red tipo Bongo de 300  $\mu$ m de luz de malla equipada con un flujómetro digital. No se siguió la metodología propuesta de Smith & Richardson (1979) donde se realizan arrastres oblicuos con el buque navegando el círculo por la dificultad de realizar arrastres estrictamente en la zona del frente de marea.

Para poner en perspectiva la variabilidad a mesoescala

de la biomasa y estructura comunitaria del zooplancton, se analizaron adicionalmente tres muestras de zooplancton de la parte más interna de Bahía Magdalena y 15 muestras de la plataforma continental recolectadas en 4 transectos orientados perpendicularmente a la costa de Bahía Magdalena (Fig. 1A). El volumen de zooplancton fue determinado usando el método del volumen desplazado (Beers 1976). Para determinar la composición específica y la abundancia de las agregaciones superficiales de zooplancton a lo largo del frente de marea se obtuvieron alícuotas ( $<^{1}/_{o}$ ) con un fraccionador de plancton tipo Folsom (Beers 1976). Se identificaron las especies de zooplancton hasta el mínimo nivel taxonómico posible con las claves de identificación de Palomares-García et al. (1998) para copépodos, Baker et al. (1990), Brinton et al. (2000) para eufáusidos y Todd et al. (1996) y Young et al. (2002) para el resto de los grupos de zooplancton.

### RESULTADOS

### Descripción de las condiciones ambientales a meso escala

Altura de la marea. El ciclo de marea en Bahía Magdalena es mixto semidiurno. Durante el periodo mareas vivas la altura de la marea fluctuó entre 2.16 m y -0.36 m asociadas con intensas corrientes de flujo y reflujo en la boca (>125 cm s<sup>-1</sup>). Durante mareas muertas la amplitud de la marea fue mas estrecha fluctuando entre 1.34 m y 0.25 m sobre el nivel medio del mar con corrientes de marea menos intensas < 70 cm s<sup>-1</sup> (Fig. 2).

Variación circadiana de la distribución vertical de la concentración de oxígeno disuelto, fluorescencia y temperatura durante mareas vivas. Los perfiles verticales de concentración de oxígeno disuelto, fluorescencia y temperatura a lo largo del transecto (18 km) en ciclos diurnos de mareas vivas y muertas demostraron que la variación espacio-temporal de estas variables está estrechamente relacionada con la dinámica de la altura de la marea (Figs. 3 y 4).

El perfil vertical de concentración de O<sub>2</sub> en mareas vivas en la porción de la boca y la plataforma mostró que en los primeros 10-15 m de la columna de agua la concentración promedio fue más baja durante el flujo ~3.4 ml O<sub>2</sub> L<sup>-1</sup> (Fig. 3B) que durante el reflujo ~6.4 ml O<sub>2</sub> L<sup>-1</sup> (Fig. 3A). La fluorescencia presentó un patrón de variabilidad similar al del O2, los mayores valores se presentaron en la boca y la plataforma durante el flujo <15 V (Fig. 3D) que durante el reflujo  $\sim 25$  V (Fig. 3C). La variación de la distribución vertical de la temperatura mostró que agua con menor temperatura entra a la bahía durante el flujo y que agua relativamente más cálida sale de la bahía durante el reflujo (Fig. 3 E y F). Así, se estimó que el tipo de agua superficial (<15 m) típica de la bahía se desplazó hasta aproximadamente 2 km fuera de la costa sobre la plataforma continental durante el reflujo (Fig. 3E). Durante la fase de flujo el tipo de agua de la plataforma invadió la región de la boca y la porción más



Fig. 2. Altura de la marea durante (A) mareas vivas y (B) mareas muertas. La numeración de la curva representa los periodos de la marea donde se obtuvieron los perfiles verticales de oxígeno disuelto, fluorescencia y temperatura a través de la boca de Bahía Magdalena



Fig. 3. Perfil vertical de la concentración de  $O_2$ , fluorescencia y temperatura en mareas vivas, durante el reflujo (paneles superiores) y el flujo (paneles inferiores). Las flechas indican la dirección y altura de la marea (m) en la plataforma continental, boca y Bahía Magdalena



Fig. 4. Perfil vertical de la concentración de  $O_{2^{t}}$  fluorescencia y temperatura en mareas muertas, durante el reflujo (paneles superiores) y el flujo (paneles inferiores). Las flechas indican la dirección y amplitud de la marea (m) en la plataforma continental, boca y Bahía Magdalena

interna del transecto donde las isotermas de 16 y 17°C se orientaron verticalmente delineando el frente de marea que penetró aproximadamente 6 km en la bahía. El frente de marea usualmente se manifiesta con mayor magnitud en los primeros 10 m de profundidad (Fig. 3F).

Variación en flujo y reflujo en la distribución vertical de la concentración de oxígeno disuelto, fluorescencia y temperatura durante mareas muertas. En este periodo se detectó una menor variabilidad espacio-temporal de las variables medidas asociadas a la relativamente reducida amplitud de marea. Durante la fase de reflujo el perfil de O2 mostró concentraciones más elevadas sobre la plataforma continental y boca de bahía >6.5 ml O<sub>2</sub> L<sup>-1</sup> que en los estratos por debajo de los 40 m, sobre la plataforma continental y cerca del fondo en el interior de la bahía (Fig. 4A). Durante el flujo agua subsuperficial, por debajo de los 40 m con bajas concentraciones de oxígeno <5.5 ml O, L-1, invadió la boca de la bahía pero no se desplazó tan adentro de la bahía como sucedió durante mareas vivas (Fig. 4B). En general, los valores de fluorescencia en este periodo fueron inferiores a los observados durante mareas vivas. Se registró una elevada fluorescencia (20 V) durante el reflujo principalmente sobre la plataforma continental por debajo de los primeros 15 metros (Fig. 4C). Durante el flujo el estrato vertical con mayor fluorescencia se restringió por debajo de los primeros 10 m (Fig. 4D). Durante el reflujo, la distribución vertical de la temperatura mostró que la capa de los primeros 15 m estuvo homogénea (21ºC) dentro y fuera

de Bahía Magdalena por lo que el frente de marea no fue evidente (Fig. 4E). En fase de flujo el desplazamiento del tipo de agua fría típica de la plataforma (isoterma de 15°C) fue menor en comparación con el registrado durante mareas vivas. En la fase de flujo el tipo de agua superficial a lo largo de todo el transecto fue más cálida, lo que ocasionó que la estructura térmica vertical de la columna de agua se estratificara con un pronunciado gradiente de 21°C en superficie a 18°C en el fondo (Fig. 4F).

Temperatura, oxígeno disuelto y fluorescencia (4-m profundidad) a través del frente de marea, durante mareas vivas. Los valores de oxígeno, fluorescencia y temperatura a pequeña escala a través del frente de marea y en ambos lados del mismo (<150 m) mostraron que el tipo de agua de la plataforma se caracteriza por tener baja temperatura, concentración de oxígeno y fluorescencia en comparación con el tipo de agua de Bahía Magdalena (Fig. 5A). El gradiente de temperatura entre la plataforma continental y la bahía fue de aproximadamente 1ºC, de la fluorescencia fue de  $\sim 15$  V y de la concentración de oxígeno fue de  $\sim 3 \text{ ml O}_{2}$ L-1.



Fig. 5. (A) Caracterización del frente de marea durante mareas vivas en función de la temperatura, concentración de O<sub>2</sub> y fluorescencia a 4 m de profundidad. (B) Capa de dispersión acústica registrada a través del frente de marea y zonas aledañas, las flechas indican la posición aproximada del frente de marea mostrando densas agregaciones de plancton cerca de la superficie, (C) numéricamente dominadas por el copépodo *Calanus pacificus*. (D) Vista superficial de las agregaciones de zooplancton

**Perfil de temperatura y diagrama TS en el frente de marea (CTD) durante mareas vivas.** El frente de marea y el lado de la bahía presentaron una estratificación pronunciada (gradiente vertical entre 1.1 y 1.7°C) con termoclina entre 5 y 8 m respectivamente; mientras que en el lado del agua de la plataforma continental el perfil de temperatura fue prácticamente mezclado (gradiente vertical de 0.7°C) (Fig. 6A). El diagrama TS muestra distintos tipos de agua en estratos superficiales, pero las características de TS se traslapan considerablemente en los estratos profundos haciendo las condiciones en la zona frontal y ambos lados del mismo virtualmente indistinguibles (Fig. 6B).

**Evolución temporal del frente de marea durante mareas vivas en la parte profunda de Bahía Magdalena, detectado por temperatura.** En bajamar el frente de marea estuvo cercano a la boca de la bahía (Fig. 7A). En fase de flujo el frente de marea penetró con orientación paralelamente a la boca con una forma irregularmente curveada (Figs. 7 B–D), deformándose considerablemente (Fig. 7E). Posteriormente durante el reflujo la zona frontal cambió su orientación delineando el frente de marea perpendicular a la boca de Bahía Magdalena (Fig. 7 F– H) sugiriendo que la corriente de reflujo con agua cálida primero sale de la bahía provienente de la porción sur de Bahía Magdalena. Este patrón se repitió durante el siguiente ciclo de 24 horas (Figs. 7 I–N). Las tendencias observadas de las isolíneas de temperatura, concentración de oxígeno disuelto y fluorescencia a 4–m de profundidad fueron notablemente similares.

### Descripción de las variables biológicas

Biomasa zooplanctónica. La biomasa zooplanctónica estuvo comparativamente más concentrada en la zona del frente termo-halino que en ambos lados del mismo y tanto en aguas típicas de la plataforma continental como en la parte interna de la bahía (Tabla 1). Asimismo, la biomasa zooplanctónica fue significativamente mayor durante mareas vivas que durante mareas muertas (W = 32, p = 0.0186) (Fig. 8A, B, Tabla 2). Durante mareas vivas la elevada biomasa fue atribuida principalmente a agregaciones superficiales monoespecíficas de Calanus pacificus, con biomasas promedio de hasta 1488 ml 1000 m<sup>-3</sup> (Figs. 5 C–D). Las agregaciones fueron detectadas visualmente a lo largo del frente de marea, ya que atraían una gran cantidad de peces que eran a su vez depredados por otras especies como lobos marinos, delfines y aves marinas. Debido a que el ADCP utiliza una relativamente alta frecuencia 250 kHz, se espera que pueda detectar la capa de dispersión causada por el mesozooplancton (<10 mm). Esta densa capa de dispersión fue registrada en la



Fig. 6. (A) Perfiles de temperatura registrados en el frente de marea y a ambos lados del frente (<150 m), así como sobre la plataforma continental y la parte más interna de la bahía. (B) Diagrama T-S mostrando en el recuadro las características de termohalinas del frente de mareas



Fig. 7. Evolución temporal del frente de marea en la parte profunda de Bahía Magdalena detectado por temperatura a 4 m de profundidad (registrado durante 48 h cada 5 segundos, resolución espacial de 25 m) a lo largo de cuatro transectos paralelos a la boca mostrados en la Fig. 1B. El transecto inferior de cada panel es el más cercano a la boca. Cada panel es ubicado temporalmente con la altura de mareas

Tabla 1. Biomasa zooplanctónica promedio (ml 1000 m<sup>-3</sup>) y error estándar (s<sub>x</sub>) recolectado en plataforma continental, zona frontal y parte interna de Bahía Magdalena durante julio del 2004. La región del frente incluyó muestras recolectadas en lado de la bahía y de la plataforma continental separadas entre sí aproximadamente 150 m del frente de marea. s<sub>\_</sub> = error estándar

Región de muestreo	Biomasa promedio ind. 1000 m <sup>-3</sup>	$s_x$ ind. 1000 m <sup>-3</sup>	n
Plataforma continental	491.2	132.6	15
Frente–Plataforma continental	847.3	372.9	5
Frente de Marea	1,488.1	865.2	4
Frente–Bahía	180.0	102.0	4
Bahía	44.9	194.5	8



Fig. 8. (A) Distribución de frecuencia y (B) mediana,  $q_1$  y  $q_3$  de la biomasa zooplanctónica recolectada a lo largo del frente de marea y a ambos lados del mismo durante mareas vivas y mareas muertas

Tabla 2. Promedio, mediana, error estándar  $(s_x)$  y número de estaciones muestreadas (n) de la biomasa zooplanctónica (ml 1000 m<sup>-3</sup>) en el frente de marea y a ambos lados del mismo (<300 m de ancho) du rante mareas vivas y mareas muertas en Bahía Magdalena

Estadísticos	Marea viva	Marea muerta
	30 junio – 1 julio 2004	8 – 10 julio 2004
Promedio	1134.0	176.5
Mediana	1265.5	167.1
Error estándar ( $s_x$ )	370.4	31.4
n	9	4

zona frontal mostrando que las agregaciones superficiales de copépodos tuvieron un grosor <15 m de profundidad (Fig. 5B).

De manera complementaria la ecosonda EY-60 detectó una capa de dispersión de sonido reflejada por organismos relativamente de mayor tamaño (macrozooplancton y micronecton) en la zona del frente distribuidos verticalmente a lo largo de toda la columna de agua (>35 m de profundidad) (Fig. 9). Las densas agregaciones de macrozooplancton y micronecton no fueron detectadas en los extremos de la ruta en zig-zag indicando que las agregaciones fueron <300 m de ancho (Figs. 5 y 8, Tabla 1). Observaciones realizadas desde cubierta y con una cámara submarina mostraron densas agregaciones de langostilla (*Pleuroncodes planipes*), cardúmenes de peces pelágicos menores (*Sardinops sagax caeruleus* y *Scomber japonicus*), peces de la familia Carangidae y en menor abundancia, juveniles de calamares en la columna. Esto indica que en mareas vivas y en flujo el frente de marea de Bahía Magdalena tiene un efecto concentrador de zooplancton principalmente en los estratos superficiales (<15 m profundidad) siendo usualmente mas notables durante periodos de reflujo.

Abundancia y estructura de la comunidad del zooplancton a pequeña escala a través del frente de marea. La estructura de la comunidad a lo largo del frente de marea y ambos lados del mismo estuvo compuesta por 53 grupos identificados al nivel taxonómico mas bajo posible, incluyendo 25 especies de copépodos, dos especies del Orden Euphausiacea, y otros grupos de zooplancton como quetognatos, larvas y adultos de decápodos. Solo cuatro especies del mesozoplancton (*Calanus pacificus, Paracalanus parvus, Nyctiphanes simplex* y *Acartia clausi*) aportaron cerca del 90% de la abundancia numérica total del zooplancton (Figs. 10A–F).

**Mareas vivas.** Las muestras de zooplancton recolectadas a lo largo del frente de marea demostraron que el copépodo *Calanus pacificus* fue la especie dominante (78%) en la región del frente y la plataforma continental seguida de *Paracalanus parvus* (11–15%) y*A. clausi* (3%) (Figs. 10A,B). En el tipo de agua de la bahía, durante mareas vivas, el copépodo *P. parvus* fue la especie dominante (55%) seguido de otras especies de copépodos como *C. pacificus* (12%) y *A. clausi* (12%) (Fig. 10C).

**Mareas muertas.** En el frente de marea las abundancias relativas de las especies de zooplancton dominantes cambiaron significativamente en comparación con el periodo en mareas vivas en dos aspectos: (1) se registró una relativamente mayor diversidad y (2) las especies dominantes fueron los copépodos *Paracalanus parvus* (59%), *Acartia clausi* (14%) *Centropages furcatus* (5 %) y *Corycaeus* spp. (5 %) (Fig. 10E). La bahía tuvo una co-dominancia

relativamente más homogénea entre especies (*C. pacificus*, *P. parvus* y *A. clausi*). Es posible que los adultos del eufáusido *N. simplex* penetraron en la bahía estrictamente delimitados por el frente de marea, sin embargo se encontraron larvas en bajas abundancias dentro de la bahía (Fig. 10E). No se capturó *C. pacificus* en la plataforma continental durante mareas muertas, zona que estuvo dominada numéricamente por especies también conspicuas de la bahía (*P. parvus*, *Subeucalanus* spp. y *A. clausi*) (Fig. 10D).

Tres de las 4 especies de zooplancton numéricamente abundantes (*C. pacificus*, *P. parvus* y *N. simplex*) tuvieron altas densidades a lo largo del frente de marea (Figs. 11A, B y D). Los copépodos *P. parvus* y *A. clausi* tuvieron



Fig. 9. Ecograma registrado a través del frente de marea (FM), en la parte de la bahía (B–FM) y la plataforma continental (PC–FM) (. La capa de dispersión de sonido en la zona del frente de marea estuvo compuesta por organismos macrozooplanctónicos (eufáusidos) y micronectónicos (langostillas y peces pelágicos menores)



Fig. 10. Abundancia relativa de especies de zooplancton recolectadas durante (A-C) , (D-F) mareas muertas en (A,D) plataforma continental, (B,E) frente de marea y (C,F) Bahía Magdalena

Fig. 11. Mediana,  $q_1 \ge q_3$  de la abundancia de cuatro especies de zooplancton numéricamente abundantes a lo largo del frente de marea y a ambos lados del frente. (A) *Calanus pacificus*, (B) *Paracalanus parvus*, (C) *Acartia clausi* y (D) *Nyctiphanes simplex*. Figura modificada de Gómez–Gutiérrez et al. (2007)

una elevada abundancia sobre la plataforma continental cercano al percentil del 75% ( $q_3$ ), pero la mediana fue significativamente más baja en la plataforma continental que en el tipo de agua de la bahía (Figs. 11B,D). Ninguna especie tuvo abundancias extremas superiores al percentil ( $q_3$ ).

#### DISCUSION

La boca de Bahía Magdalena es una zona hidrodinámica activa que tiene un impacto relevante en la interconexión de la distribución y concentración de nutrientes, materia orgánica, plancton y micronecton entre la plataforma continental y la parte interna del complejo lagunar (Aceves–Medina et al. 1992, Gómez– Gutiérrez et al. 2001, Gómez–Gutiérrez & Robinson 2006, Guerrero–Caballero et al. 1988, Palomares–García & Vera– Alejandre 1995, Robinson et al. 2004, Zaytsev et al. 2003). Observaciones realizadas *in situ* con una cámara de video submarina en la boca de la bahía, durante periodos de mareas vivas en flujo, revelan un transporte horizontal no solo de zooplancton, sino también de micronecton como langostillas y carideos holoplanctónicos entre otros grupos (Robinson et al. 2004, Robinson et al. 2007).

Los registros de oxígeno disuelto, fluorescencia y temperatura en perfiles verticales a través de la boca principal de Bahía Magdalena y los registros continuos registrados en la parte profunda (circuitos) del presente estudio, confirmaron lo propuesto por Aurioles et al. (1994) y Zaytsev et al. (2003) quienes describen la boca de bahía como una "bomba de agua" forzada por las corrientes de mareas, eventos de surgencias y el abrupto gradiente en la batimetría (plataforma continental estrecha) que introduce y retira material biótico y abiótico mediante intensas corrientes de mareas en ciclos semi-diurnos. La alta interacción en la interfase de los tipos de agua de la plataforma continental y del interior de Bahía Magdalena se debe en parte a la relativamente estrecha boca (5.6 km) que genera un efecto de embudo que introduce en la fase de flujo cerca de 172 000 m<sup>3</sup> s<sup>-1</sup> (tasa instantánea) de agua de la plataforma continental durante las horas en flujo de marea viva. Esta tasa de flujo fue determinada mediante mediciones de ADCP transversales en la boca de la bahía (Marzo 2003) indicando que las corrientes de marea tienen la misma dirección pero distinta intensidad a través de la columna de agua a todo lo largo de la boca (Robinson & Gómez-Aguirre 2004, Sánchez-Montante 2004).

Las simulaciones numéricas (Obeso-Nieblas et al. 1999, Sánchez-Montante 2004) así como mediciones in situ de la velocidad de la corriente (Gómez-Gutiérrez & Robinson 2006, Robinson et al. 2007) indican elevadas velocidades de las corrientes de marea cerca de la boca con una progresiva reducción de las corrientes en las zonas someras hacia el interior de la bahía. Sin embargo, no ha sido sino hasta recientemente que se ha identificado la influencia oceanográfica del frente de marea per se (con periodicidad semidiurna de ~6 h) que separa la fauna epipelágica de los tipos de agua de la plataforma continental y Bahía Magdalena (Robinson et al. 2004). En el presente estudio se demuestra que el frente de marea tiene una forma irregular y que cambia su orientación durante las distintas fases de marea de flujo y reflujo. El gradiente de temperatura registrado a través del frente de marea en Bahía es varios ordenes de magnitud (1°C 0.3 km<sup>-1</sup>, Fig. 5A) más intenso que los gradientes térmicos observados en frentes de mayor escala geográfica como el frente oceánico de Bahía Magdalena (< 0.1°C km<sup>-1</sup>) (Etnoyer et al. 2006).

Un modelo de circulación baroclínico 3-dimensional langraniano sugiere que partículas pasivas homogéneamente distribuidas en Bahía Magdalena tienden a permanecer dentro de la bahía concentrándose a lo largo de la parte interna de Isla Magdalena e Isla Margarita, sugiriendo que el plancton de la bahía predominantemente es retenido por el patrón de circulación (Morales-Zarate et al. 2006). Este modelo también predice que partículas en la boca de la bahía penetran en la bahía hasta las partes mas someras cerca de Puerto San Carlos. Observaciones oceanográficas indican que durante mareas vivas el frente de marea puede penetrar entre 5 á 10 km a la bahía (Zaytsev et al. 2003, Robinson et al. 2004) sugiriendo que parte de la estructura de la comunidad del zooplancton de la plataforma continental penetra en un ambiente relativamente somero de manera temporal, como fue recientemente descubierto en el caso de los juveniles y adultos del eufáusido Nyctiphanes simplex, que ingresan con las corrientes de flujo como enjambres epibénticos pero nunca mas allá del frente de marea (Gómez-Gutiérrez & Robinson 2006). Estos últimos autores estimaron que durante mareas vivas, en fase de flujo máximo, las corrientes de marea



pueden introducir a la bahía aproximadamente 74 t de eufáusidos por día moduladas principalmente por la densidad poblacional de aquellos enjambres ubicados en la plataforma continental que son altamente variables en una escala de tiempo estacional (Gómez–Gutiérrez 1995, 1996, Gómez–Gutiérrez et al. 1996), al mismo tiempo que existe una coincidencia espacio–temporal de la migración a capas superficiales durante la noche y las corrientes de marea predominantemente en flujo.

Sin embargo ¿Cuanta biomasa zooplanctónica puede ser transportada a través de la boca de Bahía Magdalena durante un ciclo de flujo (6 h) en mareas vivas? Para contestar esta pregunta se estimó esa biomasa considerando los siguientes supuestos: (1) una biomasa zooplanctónica promedio de  $0.98 \text{ ml m}^{-3}$  (n = 9) registrada en la boca de la bahía en julio de 2004; (2) una tasa de flujo instantáneo de 172000 m<sup>3</sup> s<sup>-1</sup> a través de la boca en fase de marea en flujo (Sánchez-Montante 2004); (3) asumiendo que la biomasa zooplanctónica total es dominada por copépodos (50-90%) (Palomares-García & Gómez–Gutiérrez 1996); (4) asumiendo la equivalencia de 1 ml =  $1 \text{ cm}^3$ ; y (5) que la densidad corporal promedio de los copépodos es de 1.027 g cm<sup>-3</sup> (Calanus spp., densidad estimada acústicamente por Køgeler et al. 1987). Con esta información estimamos que aproximadamente 3748 t de biomasa zooplanctónica pueden penetrar a la bahía por corrientes de marea durante un periodo de flujo de 6 h<sup>-1</sup> (95% intervalo de confianza, 1,572 a 5,925 t 6 h<sup>-1</sup> <sup>1</sup>). Por supuesto es de esperar una variabilidad interanual, particularmente entre años con eventos de El Niño, ya que este estudio se realizó a finales de El Niño 2002-2004. Aunque el índice multivariado ENOS (MEI) de 0.5 en julio de 2004 es considerado cercano al promedio (página NOAA, http://www.cdc.noaa.gov/people/ klaus.wolter/MEI/index.html). El mismo criterio pero ahora utilizando la biomasa zooplanctónica promedio de 1.7 ml m<sup>3</sup> (n=34) estimada en julio de 1998 (finales El Niño 1997-1998) en la boca de la bahía (Hernández-Trujillo et al. 2005), se estimó una biomasa total promedio de 6666 t 6 h<sup>-1</sup>. De acuerdo con estos resultados durante julio de 1998 posiblemente penetró más biomasa zooplanctónica que durante julio de 2004. Aunque es difícil explicar esta variabilidad interanual con los datos disponibles, es importante resaltar que la variabilidad de la biomasa promedio (y por ende nuestra estimación total) debe ser menor a un orden de magnitud debido a que la serie de tiempo mensual de biomasa zooplanctónica entre 1982-1986 (Palomares-García & Gómez–Gutiérrez 1996) y 1997–1998 (Palomares–García et al. 2003) usualmente tiene valores de biomasa zooplanctónica <4 ml l<sup>-1</sup> (con tres valores puntuales no mayores de 10 ml l-1) sugiriendo que nuestra estimación para la boca es en realidad conservativa. Asumiendo una tasa de transferencia de biomasa de un nivel trófico a otro de 10%, proponemos que la capacidad de carga que puede ser sostenida por la biomasa de zooplancton que penetra en 6 h en la porción profunda de la bahía (delimitada por el frente de marea) para alimentar al nivel trófico de los zooplanctófagos posiblemente sea del orden de 374 t (157-592 t, 95% de confianza). Es importante mencionar que estas estimaciones son referidas a la región profunda de la bahía que es influenciada por el tipo de agua de la plataforma continental delimitada por el frente de marea y no es una estimación de la cantidad de biomasa zooplanctónica en toda el área lagunar de Bahía Magdalena.

De acuerdo a los datos de velocidad de las corrientes de marea en flujo máximo son estadísticamente indistinguibles entre estaciones del año, indicando que la variabilidad espacio-temporal de los procesos de producción y comportamiento del zooplancton sobre la plataforma continental afectan la cantidad de biomasa transportada a través de la boca estacionalmente, en vez de ser modulada simplemente por la advección física de las corrientes de marea (Gómez-Gutiérrez & Robinson 2006, Gómez-Gutiérrez et al. 2007). Zaytsev et al. (2003), Rosales-Villa (2004), Rodríguez-Mata (2006) demostraron que durante eventos de surgencias en la plataforma continental adyacente a Bahía Magdalena se transportan verticalmente nutrientes nitrogenados (NO<sub>3</sub>, NO<sub>2</sub><sup>-</sup> y NH4<sup>+</sup>) que a su vez son introducidos horizontalmente a la bahía por las corrientes de marea (Fig. 12). En este estudio fue repetidamente corroborado la introducción de agua con alta transparencia, baja temperatura, reducida concentración de O<sub>2</sub> y baja fluorescencia hacia la parte profunda de la bahía resultado de la influencia de agua continental corroborando observaciones previas en la región (Robinson & Gómez-Aguirre 2004, Robinson et al. 2007).

La distribución de frecuencias y el rango de los percentiles  $q_1$  y  $q_3$  de la mediana de biomasa zooplanctónica estimada durante mareas vivas vs mareas muertas sugieren que el frente de marea es un ecotono temporal que concentra altas densidades de zooplancton en escalas de tiempo semi-diurnas (Figs. 11 A,B). Es probable que estas agregaciones superficiales y frentes de marea puedan repetirse por varios días consecutivos (~ 9 días) que son los días que suelen durar los periodos de mareas vivas (Robinson et al. 2007). Las agregaciones de zooplancton usualmente ocurrieron en estratos superficiales, posiblemente asociados a la alta fluorescencia registrada en los primeros 20 metros de profundidad y a procesos etológicos posiblemente independientes de la migración vertical diaria como ocurre usualmente en regiones mas profundas fuera de la bahía.

Calanus pacificus es una especie típica de aguas templadas de la Corriente de California (Jiménez–Pérez & Lavaniegos 2004) y Paracalanus parvus es una especie típicamente residente de Bahía Magdalena (Palomares et al. 1998, 2003, Palomares–García & Gómez–Gutiérrez 1996). Aunque se muestreó en verano, una especie tropical, morfológicamente muy semejante a Paracalanus parvus, Paracalanus aculeatus fue siempre considerablemente menos abundante que P. parvus. La zona del frente durante mareas vivas tuvo especies típicas de la plataforma continental (C. pacificus y en menor medida, larvas del eufáusido N. simplex) en donde C. pacificus aportó >80 % de la biomasa total, mientras que durante mareas muertas la estructura de la comunidad



Fig. 12. Modelo conceptual del transporte de material orgánico e inorgánico a través de la boca principal de Bahía Magdalena. (A) velocidad de la corriente de marea en flujo y reflujo (Robinson & Gómez–Aguirre 2004). Integración de procesos que ocurren durante la fase flujo (B,D) y reflujo (C,E) en mareas vivas (B,C) y en mareas muertas (D,E). FM = Frente de marea, CD = capa de dispersión y MVD = migración vertical diaria. Figura modificada de Gómez–Gutiérrez et al. (2007)

zooplanctónica estuvo co-dominada por especies típicas de la parte interna de la bahía como *P. parvus, Acartia clausi* y *Clausocalanus* spp. Sin embargo, las abundancias relativas dominadas por *P. parvus*, fueron significativamente menores que las observadas en mareas vivas dominadas por *C. pacificus*. Esto indica una alta variabilidad de estructura de la comunidad en periodos entre ~9 (duración mareas vivas) y ~6 días (duración de mareas muertas) del mecanismo de transporte y concentración de plancton en el frente de marea indistintamente de ambas masas de agua, posiblemente asociadas a procesos biológicos dependientes de la estructura de la comunidad, demografía, producción y abundancia de cada lado del frente.

Es importante mencionar que el frente de marea per se no parece ser una barrera de distribución significativa las especies numéricamente dominantes del zooplancton debido a que C. pacificus es frecuentemente recolectada en la parte mas interna de la bahía y P. parvus (templadotropical cosmopolita) en la plataforma continental (Palomares-García & Gómez-Gutiérrez 1996, Gómez-Gutiérrez et al. 1999). Asimismo, la langostilla Pleuroncodes planipes fue frecuentemente observada en ambos lados de el frente de marea pudiendo en ocasiones provocar varamientos masivos de enjambres en las playas internas de Isla Margarita e Isla Magdalena (Aurioles et al. 1994), posiblemente asociado al patrón de circulación dentro de la bahía (Morales-Zárate et al. 2006). Gómez-Gutiérrez & Robinson (2006) propusieron que el frente de marea tiende a delimitar la distribución de N. simplex del tipo de agua de la plataforma continental que penetra en la bahía. Así, al parecer el frente de marea posiblemente no es una barrera física eficiente para especies micronectónicas pero posiblemente puede ser

efectiva para algunas especies holoplanctónicas de la plataforma continental que no pueden completar su ciclo de vida en el ambiente somero de la bahía, particularmente donde la temperatura puede ser mas alta que en la boca de la bahía.

Observaciones realizadas con ADCP demostraron que en el frente de marea existe un transporte vertical relativamente pequeño, el cual favorece la agregación de zooplancton en los primeros estratos de la columna de agua en un área de influencia que es de al menos 300 m de ancho, con un desplazamiento entre 5 y 8 km al interior de la bahía. Genin et al. (2005) utilizando un sistema de imagen tridimensional acústico, demostraron que los organismos zooplanctónicos se mantienen un estrato de profundidad determinado, migrando en dirección opuesta al flujo vertical nadando a contracorriente en surgencia o convergencia a velocidades de varias decenas de longitudes corporales por segundo. De acuerdo con ello, dicho mecanismo puede explicar las agregaciones de zooplancton en las zonas frontales. Esto parcialmente explica como los frentes oceánicos llegan a ser relevantes en áreas de alimentación de depredadores del plancton y se convierten en zonas pesqueras económicamente redituables. En Bahía Magdalena la acumulación de zooplancton fue relativamente somera ( $\sim 15$  m), posiblemente causada por corrientes de marea y flujos verticales de corriente muy limitados e imperceptibles. Sin embargo, los organismos nectónicos detectados con la ecosonda Simrad EY-60, prácticamente se distribuyeron a lo largo de la columna de agua principalmente en el frente de marea, indicando posiblemente su mayor independencia de las corrientes locales siendo solamente atraídos a esta zona frontal por la elevada concentración

de su alimento. Sims & Quayle. (1998) observaron que elasmobranquios planctófagos de la especie *Cetorhinus maximus* nadan a lo largo de frentes oceánicos en busca de agregaciones de zooplancton, estas zonas han sido denominadas áreas de búsqueda restringida que influyen en la ocurrencia temporal y espacial de los organismos (10–20 km en 1–2 días).

Para una mejor comprensión del efecto ecológico del frente de marea en la estructura de la comunidad de zooplancton y micronecton se construyó un modelo conceptual con la interpretación de los datos generados en este estudio y de la revisión de datos de estudios previos realizados en Bahía Magdalena. Donde se consideró el comportamiento promedio de las variables bióticas y abióticas en verano durante periodos de flujo y reflujo en mareas vivas y muertas sobre un transecto (18 km) realizado a través de la boca principal de la bahía (Figs. 12 A–E).

El frente de marea es un proceso temporal pero fundamental en la ecología trófica de este ecosistema. El transporte vertical de nutrientes por surgencias, la acumulación horizontal y su transporte hacia el interior por corrientes de marea, no solo de nutrientes si no también de fitoplancton y zooplancton en la zona del frente, atrae altas concentraciones de depredadores que se ven favorecidos por estas agregaciones temporales. Sin embargo, esta actividad disminuye durante mareas muertas dado que se reduce sustancialmente el transporte horizontal entre ambos hábitats. Estos cambios temporales en el transporte y acumulación de zooplancton a través de la boca hacen que los cardúmenes de peces pelágicos menores estén altamente agregados durante periodos de marea viva y más dispersos durante mareas muertas posiblemente asociados a la variación de la concentración de zooplancton (Robinson & Gómez-Gutiérrez 2006, Robinson et al. 2007). La estructura de la comunidad del zooplancton en todas las regiones estudiadas, mostró una alta variabilidad temporal a escalas asociadas a los procesos de mareas vivas y muertas (semanas) en contraste, con escalas de tiempo semidiurnas (6 h) asociadas a corrientes de mareas de flujo y reflujo. Aparentemente, el frente acumula plancton solamente en los estratos superficiales (<15 m de profundidad) asociados a una reducción de la velocidad de la corriente en los primeros metros de profundidad durante el flujo, pero estas agregaciones se dispersan con la intensificación de las corrientes de reflujo en el estrato superficial. Este estudio propone que la influencia temporal de las mareas durante verano ha condicionado el comportamiento de organismos depredadores a agregarse cerca de la zona frontal durante eventos de mareas vivas, constituyendo un fenómeno oceanográfico de relativamente corta duración, pero con profundo impacto en la trofodiámica de plancton y depredadores a varios niveles tróficos. Aun queda por investigar la variabilidad en el transporte y estructura de la comunidad de zooplancton a diferentes estratos (muestreos estratificados) y en distintas épocas del año para entender la función de las corrientes de mareas, en el transporte de plancton y necton de este ecosistema costero. Una estrategia de muestreo para estimar las tasas de flujo de plancton a través de la boca sería instalar transductores acústicos anclados al fondo para registrar continuamente las capas de dispersión, así como sensores continuos de variables ambientales fijadas a boyas hidrograficas, con posibilidad de detectar esta variabilidad durante todo el año, independiente del alto costo de tiempo de buques oceanográficos.

Agradecimientos. Este estudio es parte de la tesis de licenciatura de SM-G, parcialmente financiado por el Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas (CICIMAR) del Instituto Politécnico Nacional con el proyecto de investigación 'Tasas vitales y producción secundaria del zooplancton en la parte sur de la Corriente de California' (CGPI 20040013), el proyecto SEMARNAT-CONACyT: 'Monitoreo de la producción secundaria, dinámica poblacional y parasitismo de especies claves del zooplancton mediante incubaciones in situ y métodos hidroacústicos en el Golfo de California' (SEMARNAT-2004-C01-01-144) y Ecología de crustáceos gelatheidos (fase pelágica) e ictioplancton con énfasis en especies béntico-demersales en el Golfo de California (S007-2005-1), así como a la Universidad Nacional Autónoma de México con el proyecto de investigación 'Dinámica del ecosistema pelágico de Bahía Magdalena' (DEPBAMA). Agradecemos a María del Rocío Pacheco-Chávez por su valiosa ayuda en la identificación de copépodos y a la tripulación del B/O El Puma, estudiantes y científicos del Laboratorio de Ecología de Pesquerías del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología de la UNAM (ICMyL-UNAM) por su cooperación en la recolección de muestras de plancton y registros de datos oceanográficos y acústicos durante el crucero DEPBAMA0704 en julio del 2004.

### LITERATURA CITADA

- Aceves–Medina G, Saldierna–Martínez RJ, Hernández–Rivas ME (1992) Variación diurna de la abundancia de larvas de peces en la boca de Bahía Magdalena, Baja California Sur, México. Rev Inv Cient UABCS 3:61–70
- Aurioles–Gamboa D, Castro–Gonzalez MI, Pérez–Flores R (1994) Annual mass stranding of pelagic red crabs *Pleuroncodes planipes* (Crustacea: Anomura: Galatheidae), in Bahía Magdalena, Baja California Sur, México. Fish Bull US 92:464–470
- Baker A de C, Boden P, Brinton E (1990) A practical guide to the euphausiids of the world. Natural History Museum Publications. London
- Bakun A (1996) Patterns in the ocean: ocean progress and marine population dynamics. California Sea Grant, San Diego CA USA en cooperación con el Centro de Investigaciones Biológicas del Noreste, La Paz Baja California Sur, México
- Beers JR (1976) Volumetric methods. En: Steedman HF (ed) Zooplankton fixation and preservation. Monographs on oceanographic methodology No. 4, UNESCO press, Paris, p 56–60
- Brinton E, Ohman MD, Townsend AW, Knight MD, Bridgeman AL (2000) Euphausiids of the world ocean, Series: World Biodiversity Database CD–ROM Series Window version 1.0. Expert Center for Taxonomic Identification, Amsterdam, Netherlands, Springer Verlag, New York

Etnoyer P, Canny D, Mate B, Morgan L (2004) Persistent pe-

lagic habitats in the Baja California to Bering Sea (B2B) ecoregion. Oceanogr 17:90–101

- Etnoyer P, Canny D, Mate BR, Morgan LE, Ortega–Ortiz JG, Nichols WJ (2006) Sea–surface temperature gradients across blue whale and sea turtle foraging trajectories off the Baja California peninsula, Mexico. Deep–Sea Res II 53:340–358
- Félix–Uraga R, Alvarado–Castillo R, Carmona–Piña R (1996) The sardine fishery along the western coast of Baja California, 1981 to 1994. Calif Coop Oceanic Fish Invest Rep 37:188– 192
- Franks JSP (1992) Phytoplankton blooms and fronts: patterns, scales and physical forcing mechanisms. En: Anderson RS, Kennish MJ, Stickney RR (eds) Rev Aquat Sci CRC, New Jersey, p 121–137
- Genin A, Jaffe JS, Reef R, Richter C, Franks PJS (2005) Swimming against the flow: a mechanism of zooplankton aggregation. Science 308:860–862
- Gómez–Gutiérrez J (1995) Distribution patterns, abundance and population dynamics of the euphausiids *Nyctiphanes simplex* and *Euphausia eximia* in the west coast of Baja California, México. Mar Ecol Prog Ser 119:63–76
- Gómez–Gutiérrez J (1996) Ecology of early larval development of *Nyctiphanes simplex* Hansen (Euphausiacea) off the southwest coast of Baja California, México. Bull Mar Sci 58(1):131– 146
- Gómez–Gutiérrez J, Hernández–Trujillo S (1994) Euphausiacea and Copepoda of the oceanic front off Cabo San Lucas B.C.S., México in August of 1988. Rev Biol Trop 42:155–164
- Gómez–Gutiérrez J, Robinson CJ (2006) Tidal current transport of epibenthic swarms of the euphausiid *Nyctiphanes simplex* in a shallow subtropical bay in Baja California Sur, México. Mar Ecol Prog Ser 320:215–231
- Gómez–Gutiérrez J, De Silva–Dávila R, Lavaniegos EB (1996) Growth production of the euphausiid *Nyctiphanes simplex* at the coastal shelf off Magdalena Bay, Baja California Sur, México. Mar Ecol Prog Ser 138:309–314
- Gómez–Gutiérrez J, Palomares–García JR, De Silva–Dávila R, Carballido–Carranza MA, Martínez–López A (1999) Copepod daily egg production and growth rates in Bahía Magdalena, México. J Plankton Res 21:2227–2244
- Gómez–Gutiérrez J, Palomares–García R, Hernández–Trujillo S, Carballido–Carranza A (2001) Community structure of zooplankton in the main entrance of Bahía Magdalena, México during 1996. Rev Biol Trop 49:545–558
- Gómez–Gutiérrez J, Martínez–Gómez S, Robinson CJ (2007) Influence of thermo-haline fronts forced by tides on near-surface zooplankton aggregation and community structure in Bahía Magdalena, Mexico. Mar Ecol Progr Ser 346:109-125
- Griffiths RC (1963) Studies of oceanic fronts in the mouth of the Gulf of California, an area of tuna migrations. Food and Agriculture of United Nations, Fish Rep 3:1583–1609
- Griffiths RC (1965) A study of ocean fronts off Cape San Lucas, Lower California. Unites States Fish Wild Ser. Spec. Sci Rep Fish 499:1–53
- Grimes CB, Finucane JF (1991) Spatial distribution and abundance of larval and juvenil fish, chlorophyll and macrozooplankton around the Mississippi River discharge plume, and the role of the plume in fish recruitment. Mar Ecol Prog Ser 75:109–119
- Guerrero–Caballero R, Cervantes–Duarte R, Jiménez–Illescas AR (1988) Nutrient variations during a tidal cycle at the mouth of a coastal lagoon in the Northwest of México. Indian J Mar Sci 17:235–237
- Hernández–Trujillo S, Zarate–Villafranco A, Esqueda–Escarcega GM (2005) Estudio inicial de la distribución vertical de biovolumen del zooplancton en Bahía Magdalena, Baja California Sur, México. Oceánides 20(1–2):9–16

- Holligan P, Harris R, Newl R, Harbour D, Head R, Linley E, Lucas M, Tranter P, Weekly C (1984) Vertical distribution and partitioning of organic carbon in mixed, frontal and stratified waters of the English Channel. Mar Ecol Prog Ser 14:111–127
- Jiménez–Pérez LC, Lavaniegos BE (2004) Changes in dominance of copepods off Baja California during the 1997–1999 El Niño and La Niña. Mar Ecol Prog Ser 277:147–165
- Køgeler JW, Falk–Petersen S, Kristensen Å, Pettersen F, Dalen J (1987) Density and sound speed contrast in sub–arctic zooplankton. Polar Biol 7:231–235
- Morales-Zárate MV, Aretxabaleta AL, Werner FE, Lluch-Cota SE (2006) Modeling winter circulation and particle retention in the Magdalena-Almejas Bay lagoon system (Baja California Sur, Mexico). Ciencias Marinas 32:631–647
- Obeso–Nieblas M, Gaviño–Rodríguez JH, Jiménez–Illescas AR (1999) Modelación de la marea en el sistema lagunar Bahía Magdalena–Almejas, B.C.S., México. Oceánides 14:79–88
- Owen R (1981) Fronts and eddies in the sea: Mechanisms, interactions and biological effects. En: Longhurst AR (ed) Analysis of marine ecosystems. Academic Press, London, p 197-233
- Palomares–García R, Gómez–Gutiérrez J (1996) Copepod community structure at Bahía Magdalena, México during El Niño 1983–1984. Estuar coast Shelf Sci 43:583–595
- Palomares–García JR, Vera–Alejandre R (1995) Predation upon larvae of the Pacific sardine *Sardinops sagax* by cyclopods copepods. J Crust Biol 15:196–201
- Palomares–García JR, Suárez–Morales E, Hernández–Trujillo S (1998) Catálogo de los copépodos (Crustácea) pelágicos del Pacífico mexicano. CICIMAR–IPN, México
- Palomares–García R, Martínez–López A, De Silva–Dávila R, Funes–Rodríguez R, Carballido–Carranza MA, Avendaño– Ibarra R, Hinojosa–Medina A, López–Ibarra GA (2003) Biolical effect of El Niño 1997–1998 on a shallow subtropical ecosystem: Bahía Magdalena, México. Geo Intern 42:455–466
- Pingree R, Holligan P, Head R (1977) Survival of dinoflagellate blooms in the western English Channel. Nature 265:266– 269
- Robinson CJ, Gómez–Aguirre S (2004) Tidal use by the red crab *Pleuroncodes planipes* in Bahía Magdalena, México. J Exp Mar Biol Ecol 308:237–252
- Robinson CJ, Gómez–Gutiérrez J (2006) Pacific sardine behaviour as inferred by acoustic related with tidal fronts in Baja California, Mexico. ICES–Working Group on Fisheries Acoustics, Science and Technology, ICES working group Report. 27–31 March, 2006, Hobart, Tasmania, Australia
- Robinson CJ, Anislado V, López A (2004) The pelagic red crab (*Pleurocondes planipes*) related to active upwelling sites in the California Current of the west coast of Baja California. Deep–Sea Res 151:753–766
- Robinson CJ, Gómez–Aguirre S, Gómez–Gutiérrez J (2007) Pacific sardine behaviour related to tidal current dynamics in Bahía Magdalena, Mexico. J Fish Biol 71:200-218
- Robinson CJ, Gómez-Gutiérrez J, Gómez-Aguirre S (2007) Efecto de la dinámica de las corrientes de mareas en el ecosistema pelágico de Bahía Magdalena. En: Estudios Ecológicos en Bahía Magdalena. Funes-Rodríguez R, Gómez-Gutiérrez J, Palomares-Garcia JR (eds) Estudios ecológicos en Bahía Magdalena. CICIMAR-IPN, La Paz, Baja California Sur, México, p 45-58
- Rodríguez–Mata LM (2006) Estudio a microescala de los nutrientes y variables hidrológicas en Bahía Magdalena, B.C.S., México. Tesis de Maestría, Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas, La Paz, BCS, México

- Rosales–Villa AR (2004) Dinámica de nutrimentos en Bahía Magdalena, B.C.S., México. Tesis de Maestría, Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas, La Paz, BCS, México
- Sánchez–Montante O (2004) Hidrodinámica y transporte de masa en el sistema lagunar de Bahía Magdalena–Bahía Almejas, Baja California Sur, México: Modelación y experimentación. Tesis de Doctorado, Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas, La Paz, BCS, México
- Sims VW, Quayle VA (1998) Selective foraging behavior of basking sharks on zooplankton in a small–scale front. Nature 393:460–464
- Smith PE, Richardson S (1979) Técnicas modelo para prospecciones de huevos y larvas de peces pelágicos. FAO. Doc Tec de Pesca 175:1–107
- Smith SL, Jones BH, Atkinson LP, Brink KH (1986) Zooplankton in the upwelling fronts off Point Conception, California. En: Nihoul JC (ed) Marine interfaces ecohydrodynamics. Elsevier, Amsterdam p 195–353

Todd CD, Laverack MS, Boxshall GA (1996) Coastal marine zoo-

plankton. A practical manual for students. Second edition. Cambridge, London

- Uye S, Yamaoka T, Fujisawa T (1992) Are tidal fronts good recruitment areas for herbivorous copepods? Fish Oceanogr 1:216–226
- Yamamoto T, Tnigichi A, Nishizawa S (1981) Microplankton distribution at an oceanic front formed in the Sanriku waters off northeast Japan. Bull Plankton Soc Japan 28:111–120
- Young CM, Sewell MA, Rice ME (editores) (2002) Atlas of marine invertebrate larvae. Academic Press, San Diego USA
- Zaytsev O, Cervantes-Duarte R, Sánchez-Montante O, Gallegos-García A (2003) Coastal upwelling activity of the Pacific shelf of Baja California peninsula. J Oceanogr 59(4):489–502
- Zervoudaki S, Christou ED, Nielsen TG, Siokou-Frangou I, Assimakopoulou G, Giannakourou A, Maar M, Pagou K, Krasakopoulou E, Christaki U, Moraitou-Apostolopoulou M (2007) The importance of small-sized copepods in a frontal area of the Aegean Sea. J Plankton Res 29:317-338

Martínez–Gómez S, Gómez–Gutiérrez J, Robinson CJ (2007) Transporte de agregaciones de zooplancton a través de la boca de Bahía Magdalena asociado a corrientes y frentes de marea. En: Funes-Rodríguez R, Gómez-Gutiérrez J, Palomares-García R (eds) Estudios ecológicos en Bahía Magdalena. CICIMAR-IPN, La Paz, Baja California Sur, México, p 189-203

# Composición, distribución y abundancia de larvas de peces en Bahía Magdalena

### René Funes–Rodríguez<sup>1,\*</sup>, Julián D. Leal–Espinoza<sup>1</sup>, Alejandro Hinojosa–Medina<sup>1</sup>, Martín E. Hernández–Rivas<sup>1</sup> y Cesar Flores–Coto<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Depto. Plancton y Ecología Marina. Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas, Instituto Politécnico Nacional, Av. IPN s/n. Col Playa Palo de Sta. Rita, AP. 592, La Paz, 23096, Baja California Sur <sup>2</sup> Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, Universidad Nacional Autónoma de México, AP. 70–305, CP. 04510, México, D.F

RESUMEN: Este capitulo analiza la composición de especies y cambios en la abundancia y distribución de las larvas de peces numéricamente frecuentes y abundantes en Bahía Magdalena con el propósito de caracterizar las asociaciones comunitarias en tiempo y espacio. La biota ictioplanctónica de afinidad subtropical como la sardina del Pacífico, la macarela del Pacífico y los góbidos ocurren principalmente en invierno (periodo templado) y las mojarras, burros y cabrillas, de origen tropical, durante verano (periodo cálido). La sucesión estacional de las especies esta definida por las diferentes épocas de reproducción que presentan las especies a lo largo del año, mientras que, la distribución de sus larvas se asocia a distintas estrategias reproductivas y preferencia del hábitat de los adultos. El evento de calentamiento El Niño 1997-1998 tuvo consecuencias anómalas en las poblaciones de larvas que fueron vistas en una disminución de la abundancia de especies residentes (*Anchoa* spp., *Quietula y-cauda, Ilypnus gilberti, Chaenopsis alepidota,* Gerreidae) y en la alteración de los periodos reproductivos de algunas especies neríticas dentro de la bahía (*Sardinops caeruleus, Scomber japonicus, Paralabrax maculatofasciatus, Paralabrax nebulifer*).

PALABRAS CLAVE: Larvas de peces · Listado taxonómico · Abundancia · Bahía Magdalena

ABSTRACT: This chapter analyzes the fish larval species composition, abundance and distribution of the taxa numerically frequent and abundant in order to characterize spatial and temporal fish larval associations in Bahia Magdalena. Subtropical affinity species such as Pacific sardine, mackerel and gobids usually occurs during the first half of the year (temperate period), while mojarras, grunts and sea basses of tropical affinity during the second one (warm period). Seasonal species succession is related with spawning time of each species, while fish larval distribution could be associated with seasonal differences in reproductive strategies and adult habitat preferences. During 1997-98 El Niño event prevailed anomalous warm conditions with a significant decrease of the neritic species larval abundance (*Anchoa* spp., *Quietula y*-*cauda*, *Ilypnus gilberti*, *Chaenopsis alepidota*, Gerreidae) or temporal shifts in reproductive periods of neritic species (Sardinops caeruleus, Scomber japonicus, Paralabrax maculatofasciatus, Paralabrax nebulifer).

KEY WORDS: Fish larvae · Check list · Abundance · Bahía Magdalena

### INTRODUCCION

El primer antecedente conocido sobre el estudio del ictioplancton en Bahía Magdalena se remonta a muestreos realizados en 1973 y 1974, cuando se obtuvo una primera aproximación al conocimiento de la distribución y abundancia de las familias de peces presentes en su etapa larval, con especial énfasis en especies de importancia comercial (Castro-Barrera 1975). Años después, las investigaciones fueron reiniciadas a través de un programa de monitoreo mensual (1982-1989) cuyo objetivo era evaluar la biomasa reproductora, mediante el censo de huevos y larvas de la sardina del Pacífico (Esquivel-Herrera et al. 1985). En periodos recientes, las investigaciones han permitido identificar cambios en la estructura de la comunidad asociadas a cambios oceanográficos (Funes-Rodríguez et al. 1998, Avendaño-Ibarra et al. 2004), así como, de la variabilidad estacional en la composición y abundancia de especies de interés comercial durante eventos de calentamiento El Niño (Saldierna-Martínez et al. 1987, Funes-Rodríguez et al. 2001, Leal-Espinoza, 2006).

La costa occidental de Baja California tiene una relativamente alta diversidad de peces que se refleja en aproximadamente 400 especies (Fischer et al. 1995, Moser 1996) pertenecientes a la provincias San Dieguina y Panámica (Allen & Smith, 1988). De estas especies, son registradas como adultos aproximadamente 260 taxones (65%) en Bahía Magdalena (De la Cruz-Agüero et al. 1994, Galván-Magaña et al. 2000). La región frente a Bahía Magdalena es reconocida como un área biológicamente rica 'hot spot' porque ahí se congregan especies de aguas cálidas y templadas (Etnoyer et al. 2004, Malakoff 2004). Dentro de la gran diversidad faunística de Bahía Magdalena se incluye un componente de peces pelágicos menores que son objeto de una importante pesquería (Mathews 1975, Félix-Uraga et al. 1996). La principal especie en la pesquería comercial es la sardina del Pacífico, Sardinops caeruleus, pero también se pesca a la sardina crinuda, Opisthonema libertate, macarela, Scomber japonicus y en menor proporción, las sardinas japonesa, Etrumeus teres, y bocona, Cetengraulis mysticetus (Félix-Uraga et al. 1996). Otras especies de peces pelágicos menores de importancia comercial en el área incluyen a las sardinas piña, Oligoplites saurus inornatus y escamuda, Harengula thrissina y las anchovetas, del género Anchoa, además de especies propias de lagunas costeras de interés en la pesquería ribereña (familias Gerreidae, Serranidae, Haemulidae y Mullidae) (Fischer et al. 1995), y aquellas de importancia ecológica, por su alta abundancia y que probablemente son energéticamente influyentes en la trama trófica local (Ilypnus gilberti, Quietula y-cauda).

El promedio de la temperatura superficial del mar como un indicador de variabilidad temporal del ambiente presenta un fuerte contraste entre el mes más frío (mayo, 18° C) y el más cálido del año (septiembre, 30° C), pero esta diferencia suele ser mayor durante los eventos de calentamiento El Niño (Funes-Rodríguez et al. 2001, Palomares-García et al. 2003). La presencia de huevos y

larvas de algunas especies de peces de afinidad subtropical durante la primera mitad del año y de afinidad tropical durante la segunda, es consistente con el cambio térmico superficial del mar (Funes-Rodríguez et al. 2001). La secuencia de cambios del ambiente dentro de la bahía está íntimamente ligada con la región nerítica adyacente (Lluch-Belda et al. 2000, Gómez-Gutiérrez & Robinson 2006, Zaytsev et al. 2003), que le confiere la influencia de corrientes oceánicas superficiales y eventos de surgencia forzados por el viento en la plataforma continental (Hickey 1979, Huyer 1983, Lynn & Simpson 1987, Zaytsev et al. 2003, Zaitsev et al. 2007). El efecto de la marea en el intercambio de agua entre la región oceánica y el interior de Bahía Magdalena es físicamente posible debido a corrientes generadas durante el flujo y el reflujo a través de su boca de acceso (Obeso-Nieblas et al. 1999. Sánchez-Montante 2004, Sánchez-Montante et al. 2007). No

obstante, la relación entre los mecanismos físicos y diferencias específicas de comportamiento de las especies que permiten el intercambio entre la zona nerítica y el interior de la bahía, ha sido recientemente explicada (Gómez-Gutiérrez & Robinson 2006, Robinson et al. 2007, Martínez-Gómez et al. 2007). El objetivo de este trabajo es determinar las causas que originan los cambios temporales en la abundancia y distribución de las larvas de peces en el cuerpo lagunar de Bahía Magdalena; con énfasis en las especies que presentan la más alta abundancia y frecuencia de ocurrencia en las muestras de plancton.

### MATERIALES Y METODOS

Las muestras de zooplancton fueron obtenidas mensualmente de enero de 1997 a diciembre de 1998 durante el evento El Niño-La Niña. El plan básico de muestreo consistió de 14 estaciones en Bahía Magdalena (Fig. 1). Las muestras se obtuvieron con una red cónica de 0.60 m de diámetro en su boca y malla de monofilamento Nytex de 505  $\mu$ m. Los arrastres fueron superficiales con una trayectoria semi circular a una velocidad aproximada de 1 m s<sup>-1</sup> durante cinco minutos. Las larvas de peces fueron separadas de un total de 294 muestras de zooplancton. La base de datos consiste de la abundancia de 120 taxa agrupados en 86 géneros y 46 familias de peces presentes en Bahía Magdalena. La selección de los taxones se hizo con el índice de valor biológico que considera la abundancia y frecuencia relativa de las especies (Sanders 1960). La determinación taxonómica de algunas formas específicas (e. g., Haemulidae, Gerreidae, Mullidae y Opisthonema spp.) fue imposible de realizar, por lo que su determinación fue a nivel de género, y en otros casos a nivel familia, con



Fig. 1. Área de estudio y plan de estaciones de muestreo en Bahía Magdalena B.C.S., México

la designación de "tipo"; de acuerdo a patrones específicos de caracteres merísticos y de pigmentación.

La variación mensual de la abundancia de larvas normalizados a 10 m<sup>-2</sup> de superficie marina fue contrastada con los valores de anomalías de temperatura superficial del mar de la serie de datos registrados en Bahía Magdalena de 1982 a 1998 (Gómez-Gutiérrez et al. 1999, Palomares et al. 2003). Los valores de la abundancia total acumulada y frecuencia de aparición de larvas de cada especie en el bienio de muestreo (1997 y 1998), fueron agrupados por intervalos de temperatura superficial de mar por cada medio grado centígrado (16.5 - 31.5° C). Este análisis permitió identificar los intervalos de temperatura donde ocurre la mayor abundancia de cada uno de los taxones seleccionados.

La técnica de ordenamiento numérico denominada Escalamiento No-Métrico Multidensional (NMDS) (Kruskal 1964) fue aplicada para obtener una descripción del patrón estacional de la abundancia de larvas (22 meses de estudio) y de la distribución de su abundancia (294 posiciones de muestreo). El análisis de la variación estacional se realizó utilizando una matriz con la abundancia mensual promedio de cada una de las especies. Debido a que cada posición de muestreo es la misma en cada mes de estudio, el análisis de la distribución geográfica se realizó con la abundancia promedio de cada una de las especies por estación de muestreo (14 estaciones). El procedimiento general del NMDS fue en modo automático de configuración del programa PC-ORD v 4.26 (McCune & Mefford 1999, McCune et al. 2002) para obtener la solución con menor estrés posible, eligiendo el método de calculo de la distancia de Bray Curtis (Sørensen). El análisis fue realizado con cuatro ejes, 200 iteraciones, 15 cálculos con datos reales, 30 cálculos aleatorios y a una estabilidad de 0.000100. La elección del número de ejes se determinó de comparar el estrés contra el número de ejes (prueba de Monte Carlo) y la estabilidad de comparar el estrés contra el número de iteraciones. La proporción de la varianza representada en cada eje se basa en la correlación ( $r^2$ ) entre la distancia en el escalamiento y la distancia en el espacio original.

Los criterios para identificar las ventanas ambientales de las especies asociadas en tiempo y espacio (grupos faunísticos) durante el periodo de estudio fueron complementados con información autoecológica de las especies (distribución; afinidad biogeográfica; época de reproducción). La información fue obtenida principalmente de los trabajos de Miller & Lea (1972), Eschmeyer et al. (1983), Fischer et al. (1995), Moser (1996), Fishbase (http://www.fishbase.org/search.cfm), entre otras fuentes bibliográficas de cada especie.

### RESULTADOS

### Variación de la composición y abundancia

Durante el periodo de estudio se registró la presencia de un total de 120 taxones de larvas de peces, agrupados en 86 géneros y 46 familias en Bahía Magdalena (Apéndice 1). Las especies residentes numéricamente importantes son: Ilypnus gilberti (29.2 % abundancia, 45.6 % frecuencia); Quietula y-cauda (11.5 %, 44.2 %); Anchoa spp. (10.4 %, 31.3 %). En menor proporción se encontró a las especies de Haemulidae y Eucinostomus dowii y larvas de especies de origen nerítico como Opisthonema spp., Sardinops caeruleus, los cuales contribuyen con valores alrededor del 2 % de la abundancia y 15 % de la frecuencia relativa cada uno. El valor para larvas de Mullidae fue cercano al 10 % de la frecuencia. Adicionalmente, fue posible observar la presencia de larvas de peces mesopelágicos al interior de la bahía, pero cercanas a la boca de acceso, aunque estas fueron escasas (Ceratoscopelus townsendi, Vinciguerria lucetia y Melamphaes sp.) (Apéndice 1).

El índice del valor biológico mostró la relevancia de nueve especies (Ilypnus gilberti, Quietula y-cauda, Sardinops caeruleus, Scomber japonicus, Paralabrax maculatofasciatus, Paralabrax. nebulifer, Achirus mazatlanus, Chaenopsis alepidota, Etropus crossotus); dos a nivel género (Opisthonema spp., Anchoa spp.); y tres a nivel familia como los taxones más representativos de las poblaciones del ictioplancton (Haemulidae, Gerreidae, Mullidae).

El análisis de la estructura estacional de la abundancia (NMDS) indica que existe una mayor significancia entre el primer y el segundo eje (estrés final de 8.5 e inestabilidad de 0.0008). El coeficiente de determinación de la correlación entre las distancias de ordenación y las distancias en el espacio *n*-dimensional original fue de 0.226 en el primer eje y de 0.569 el segundo, entre ambos ejes explican el 79.5% del total de la variabilidad. El diagrama de ordenamiento muestra que las especies de afinidad subtropical ocurren de invierno a primavera (S. japonicus, S. caeruleus, Q. y-cauda, I. gilberti y C. alepidota) y de verano a otoño los individuos de afinidad subtropical y tropical (E. crossotus, P. nebulifer, P. maculatofasciatus, Haemulidae, Anchoa spp., A. mazatlanus, Opisthonema spp., Mullidae y Gerreidae) (Fig. 2).

Las larvas de Q. y-cauda, I. gilberti, C. alepidota, P. maculatofasciatus y P. nebulifer fueron recolectadas principalmente en invierno y primavera, sin embargo, disminuyeron notablemente durante los efectos anómalos de calentamiento El Niño en 1998, o bien, presentaron cambios temporales en que fueron usualmente recolectadas (S. caeruleus, S. japonicus, P. maculatofasciatus y P. nebulifer) (Fig. 3). Estas últimas incrementaron nuevamente su abundancia, una vez transcurridos el calentamiento a finales de 1998. La proporción de cambio estacional de la abundancia de estas especies fue negativa (- 56% a - 100%) durante el invierno y la primavera de 1998, debido al efecto anómalo de calentamiento; mientras que en otoño de 1998 la proporción cambió a valores positivos, relacionado con la presencia de aqua de menor temperatura a finales de 1998 (Tabla 1). La sucesión estacional de la fauna durante la segunda mitad del año fue evidente por la presencia y dominancia numérica de larvas de



Fig. 2. Ordenamiento No-Métrico Multidimensional (NMDS) de la estructura temporal de las especies numéricamente dominantes en Bahía Magdalena, B.C.S., México durante el periodo 1997-1998

Tabla. 1 Abundancia promedio de larvas de peces dominantes y porcentaje de cambio en Bahía Magdalena de 1997 y 1998

		Invierno			Primavera			Verano			Otoño	
Especie	1997	1998	Porcentaje	1997	1998	Porcentaje	1997	1998	Porcentaje	1997	1998	Porcentaje
			cambio			cambio			cambio			cambio
Scomber japonicus	1.27	0.17	-86	0.23	0.00	-100				0.25	5.67	95
Sardinops caeruleus	3.65	0.59	-83	0.76	0.00	-100				0.00	4.09	100
Chaenopsis alepidota	2.28	0.00	-100	1.32	0.35	-73	2.09	0.41	-80	0.18	0.45	60
Quietula y-cauda	12.25	2.68	-78	10.61	1.92	-81	36.77	0.83	-97	0.17	5.52	96
Ilypnus gilberti	19.36	6.89	-64	25.16	4.27	-83	44.05	1.98	-95	0.24	7.61	96
Etropus crossotus	0.19	0.14	-27	0.38	0.94	59	1.08	1.25	13	0.14	1.00	86
Paralabrax nebulifer	0.26	0.00	-100	4.86	0.00	-100	1.65	0.49	-70	0.30	2.23	86
Paralabrax maculatofasciatus	0.56	0.25	-56	1.32	0.53	-59	0.00	2.14	100	0.13	1.38	90
Haemulidae				6.02	0.90	-85	4.31	3.61	-16	1.06	0.22	-79
Anchoa spp.	0.60	0.00	-100	6.54	2.96	-54	25.81	1.83	-92	0.39	0.58	32
Achirus mazatlanus				0.41	0.46	-12.19	0.93	1.07	15.05			
Opisthonema spp.				3.51	1.27	-63	4.57	3.95	-13			
Mullidae				0.14	0.00	-100	1.59	1.41	-11	0.40	0.39	-3
Gerreidae	0.61	0.00	-100	1.28	1.20	-6	69.75	9.56	-86	1.53	0.40	-74



Fig. 3 Abundancia promedio mensual de larvas de (a) Sardinops caeruleus, (b) Scomber japonicus, (c) Quietula y-cauda, (d) Ilypnus gilberti, (e) Chaenopsis alepidota, (f) Paralabrax maculatofasciatus y (g) Paralabrax nebulifer. Area sombreada, anomalía de temperatura en Bahía Magdalena, B.C.S., México durante 1997-1998

*Opisthonema* spp., *Anchoa* spp. Gerreidae, Haemulidae, Mullidae, *E. crossotus* y *A. mazatlanus*. A pesar de ello, durante el verano de 1998 fue posible observar una considerable disminución de la abundancia de algunas especies (*Anchoa* spp. - 92%, Gerreidae, - 86%), así como, de relativamente poco cambio (- 11% a - 16%) en *Opisthonema* spp., Haemulidae y Mullidae (Fig 4, Tabla 1).

### Abundancia de larvas asociada a intervalos de temperatura

Las larvas de Scomber japonicus y Sardinops caeruleus fueron recolectadas en un intervalo similar de

temperatura (17.0° - 23.5° C), siendo frecuentemente capturadas en aguas con temperaturas alrededor de 19.0-20.5° C (76 % y 86 % del total de la abundancia, respectivamente). Chaenopsis alepidota, Quietula y-cauda, Ilypnus gilberti y Etropus crossotus fueron recolectadas en un amplio intervalo de temperatura (16.5° - 28.5° C, incluso I. gilberti y E. crossotus alrededor de 31.0° C), siendo su mayor proporción capturada entre 19.0° - 21.5° C (82 %, 67, 58 y 51, respectivamente). Un segundo incremento de C. alepidota y E. crossotus se observó a mayores temperaturas (23.5° C y 25° C, respectivamente). Las larvas de P. nebulifer y P. maculatofasciatus fueron recolectadas en un intervalo desplazado hacia el lado frío del intervalo de temperatura (17.0° - 26.5° C), siendo principalmente entre 21.5° - 25.0°



Fig. 4. Abundancia promedio mensual de larvas de (a) *Opisthonema* spp. (b) *Anchoa* spp., (c) Gerreidae, (d) Haemulidae, (e) Mullidae, (f) *Etropus crossotus* y (g) *Achirus mazatlanus.* Area sombreada, anomalía de temperatura en Bahía Magdalena, B.C.S. México durante 1997-1998

C. Haemulidae, Anchoa spp., Achirus mazatlanus, Opisthonema spp., Mullidae y Gerreidae fueron recolectadas principalmente a una temperatura de 25° C, aunque también puede ocurrir el incremento de algunas especies alrededor de 23.0° C (Opisthonema spp. y Haemulidae) (Tabla 2).

### Distribución de la abundancia

La distribución de las especies determinada mediante un segundo análisis de escalamiento multidimensional (NMDS) con base a la distribución de la abundancia de cada especie en las estaciones de muestreo, indicaron una mayor significancia entre el primer y el segundo eje (estrés final de 9.1 e inestabilidad de 0.0008). El coeficiente de determinación de la correlación entre las distancias de ordenación y las distancias en el espacio ndimensional original fue de 0.082 en el primer eje y de 0.798 el segundo, entre ambos ejes explican el 88% del total de la variabilidad. Este diagrama permite identificar un gradiente que muestra la diferencia entre localidades de muestreo donde las larvas son recolectadas con mayor frecuencia. Por ejemplo, las larvas de peces pelágico costeros (S. japonicus, S. caeruleus, Opisthonema spp.) y demersales (Gerreidae, Mullidae) se localizan en estaciones de muestreo ubicadas del lado occidental-insular (L1, L2, M2), donde las estaciones son más profundas (20-30 m) (Figs. 5, 6); con excepción de la estación M1 sobre la boca de acceso a Bahía Magdalena. En cambio, la distancia en el escalamiento donde se ubican las larvas de peces demersales y de aguas poco profundas (I. gilberti, Q. y-cauda, Anchoa spp., C. alepidota, P. maculatofasciatus, P. nebulifer, A.

2	1	1

Especie	Rango de	go de Intervalo		Afinidad	Hábitat
1	temperatura	especifico	abundancia	biogeográfica	adulto
Scomber japonicus	18.5-23.5	19.0- 19.5	76	subtropical	pelágico
Sardinops caeruleus	17.0-23.0	19.0-20.5	86	subtropical	pelágico
Chaenopsis alepidota	17.0-28.5	19.0-23.5	82	subtropical	demersal
Quietula y-cauda	16.5-28.5	19.0-21.5	67	subtropical	demersal
Ilypnus gilberti	16.5-32.0	19.0-21.5	58	subtropical	demersal
Etropus crossotus	19.0-31.0	19.0-19.5 y 25.0	51	subtropical	demersal
Paralabrax nebulifer	17.0-25.0	22.5-25.0	78	subtropical	arrecife
Paralabrax maculatofasciatus	17.0-26.5	21.5-25.0	59	subtropical	arrecife
Haemulidae	20.0-32.0	25.0-27.5 y 22.5	71	tropical	demersal
Anchoa spp.	17.0-32.0	26.0-28.5	41	subtropical	pelágico
Achirus mazatlanus	20.0-32.0	26.0-27.5	59	tropical	demersal
Opisthonema spp.	19.5-31.5	25.0-26.0 v 23.0	51	tropical	pelágico
Mullidae	21.5-32.0	29.5-30.0 v 26.0	59	subtropical	demersal
Gerreidae	18.5-32.0	25.0-27.0 y 30.0	71	tropical	demersal

Tabla 2. Porcentajes de la abundancia de larvas asociados a intervalos de temperatura superficial del mar (° C) en Bahía Magdalena, B.C.S., México durante 1997-1998

*mazatlanus*) fue en localidades situadas en aguas poco profundas al norte y noroeste de la bahía (J, K1, K2, K3, L3) (Figs. 5, 7).

### DISCUSION

El listado sistemático más completo hasta el momento incluye los primeros estadios larvales de 105 especies de peces (Avendaño-Ibarra et al. 2004) y actualizado para este estudio, con un total de 120 especies agrupadas en 86 géneros y 46 familias de peces presentes en Bahía Magdalena. La presencia de larvas de diferentes especies de peces residentes y neríticas (Avendaño-Ibarra et al. 2004), conforman aproximadamente el 40% del total de 260 especies registradas hasta ahora en su fase adulta en el complejo lagunar (De la Cruz-Agüero et al. 1994, Galván-Magaña et al. 2000).

La variabilidad estacional de las larvas registradas en este trabajo y la sucesión de las especies entre el periodo templado y el cálido, ha sido relacionada con cambios ambientales en la bahía inducidos por el ciclo estacional de corrientes superficiales del exterior y el ingreso de algunas especies de origen nerítico con propósitos principalmente reproductivos (Funes-Rodríguez et al. 1998, 2001, Avendaño-Ibarra et al. 2004). Durante invierno-primavera, las especies numéricamente dominantes fueron usualmente de afinidad subtropical (Sardinops caeruleus, Scomber japonicus, Quietula ycauda, Ilypnus gilberti, Chaenopsis alepidota, Paralabrax maculatofasciatus y Paralabrax nebulifer). En este periodo, la Corriente de California es caracterizada por agua con temperaturas y salinidades bajas (<20° C y <34.0) que fluye por la zona nerítica adyacente en su recorrido hacia el sur (Hickey 1979, Lynn & Simpson, 1987) y a esta latitud, la mayor actividad e intensidad de la surgencia es principalmente entre abril y junio (Huyer 1983, Zaytsev et al. 2003). Al mismo tiempo que las aguas ricas en nutrientes son transportadas hacia el interior por el intercambio de marea (Rodríguez-Mata 2006). A mediados de verano y otoño los individuos típicamente tropicales son numéricamente dominantes (*Etropus crossotus, Achirus mazatlanus, Anchoa* spp., Haemulidae, *Opisthonema* spp., Gerreidae y Mullidae), en coincidencia con el flujo de la Contracorriente de California con dirección al norte (Lynn & Simpson 1987), como es observado en la temperatura que es comparativamente elevada en esa temporada.

Especies neríticas: Sardinops caeruleus es considerada una especie euritérmica debido a su amplio intervalo en que se ubican los desoves en la región de la Corriente de California (13.0-25.0 °C) (Lluch-Belda et al. 1991). Esto puede deberse a la existencia de tres diferentes stocks (cálido, templado y frío) separados por diferentes intervalos de temperatura en el Pacífico Nororiental, de los cuales el stock cálido y templado se traslapan en las inmediaciones de Bahía Magdalena (Félix-Uraga et al. 2005). De acuerdo a los registros de huevos y larvas en Bahía Magdalena, la mayor ocurrencia de S. caeruleus correspondería principalmente al stock cálido que se reproduce en invierno. Por lo tanto, la presencia de los productos del desove del stock templado es escasa en verano, probablemente limitada en la mayoría de los años por la temperatura que usualmente es elevada al interior de la bahía, a pesar de ser capturados principalmente como adultos durante el periodo cálido del año en Bahía Magdalena. En la zona nerítica, en cambio, es registrada una segunda moda en la ocurrencia de larvas en verano, además de la de invierno (Moser et al. 1993, Hernández-Vázquez 1995). El periodo de reproducción de la sardina



Eje 1

Fig. 5. Ordenamiento No-Métrico Multidimensional (NMDS) de la distribución de las especies numéricamente dominantes en Bahía Magdalena, B.C.S., México durante el periodo 1997-1998



Fig. 6. Distribución de larvas de *Scomber japonicus, Sardinops caeruleus, Opisthonema* spp., Gerreidae y Mullidae en Bahía Magdalena, B. C. S., México durante 1997-1998 (abundancia acumulada 10 m<sup>-2</sup>)



Fig. 7. Distribución de larvas de Quietula y-cauda, Ilypnus gilberti, Chaenopsis alepidota, Paralabrax maculatofasciatus, Paralabrax nebulifer, Etropus crossotus, Achirus mazatlanus, Haemulidae y Anchoa spp. en Bahía Magdalena, B.C.S., México durante 1997-1998 (abundancia promedio 10 m<sup>-2</sup> de todas las ocurrencias)

en invierno en Bahía Magdalena encuentra mucha semejanza con el Golfo de California, lo que pudiera sugerir que se trata del mismo stock. En el Golfo de California el periodo reproductivo ocurre principalmente de diciembre a febrero (Moser et al. 1974, Nevárez-Martínez 1990, Hammann et al. 1998, Aceves-Medina et al. 2004). En Bahía de La Paz en febrero (Hinojosa-Medina 2004); en Cabo San Lucas de enero a febrero (Kramer 1970); y en Bahía Magdalena de enero a febrero principalmente, aunque es posible observar sus larvas de noviembre a julio en años típicamente fríos (Saldierna-Martínez et al. 1987, Vera-Alejandre 1993, Funes-Rodríquez et al. 2001).

Las larvas de S. japonicus recolectadas durante este trabajo fueron consistentes temporalmente con un incremento en la captura comercial en Bahía Magdalena en invierno. Al respecto, Gluyas-Millán (1989, 2007) sugiere que es posible distinguir a dos grupos de edad en Bahía Magdalena: un grupo presente durante la mayor parte del año (0 a 2 años de edad) y un segundo grupo de noviembre a febrero (3 a 7 años de edad). Las larvas de S. japonicus recolectadas en invierno, probablemente pertenecen al segundo grupo y de acuerdo con estudios histológicos, la mayor frecuencia de hembras maduras se presenta de febrero a marzo en Bahía Magdalena (Arcos-Huitrón & Torres-Villegas 1990). Asimismo, en el Golfo de California es común encontrar larvas de S. japonicus en invierno principalmente (Aceves-Medina et al. 2004).

Por el contrario, la escasa presencia de larvas de *S. japonicus* en Bahía Magdalena como ha sido observado en años anormalmente fríos (Funes-Rodríguez et al. 1998), pudiera sugerir que los reproductores no ingresan en gran medida a Bahía Magdalena. No obstante, es común observar dos modas en el incremento de larvas en la costa occidental de la península de Baja California, una de invierno frente a Bahía Magdalena y otra de verano alrededor de Punta Eugenia (Moser et al. 1993). Las cuales muy probablemente estén relacionadas con los dos grupos de edades determinados por Gluyas-Millán (1989).

Las larvas de *Opisthonema* spp., de afinidad tropical, se distribuyen en un intervalo de temperatura superficial preferentemente cálido (23.0°-31° C), que es igual al registrado en el Golfo de California en primavera y verano (De la Campa & Gutiérrez 1974, Acal 1990). En Bahía Magdalena los individuos larvales recolectados aparentemente pertenecen a un solo morfotipo, que pudiera corresponder a *Opisthonema libertate* como especie numéricamente dominante como adulto. En la Bahía de La Paz y el Golfo de California se señala la posibilidad de una actividad reproductora de dos, de las tres especies (*Opisthonema medirastre* y *O. libertate*) cada una bajo condiciones ambientales diferentes (abril-mayo, 22.0-26.0° C, verano, 28.5-30.0° C, respectivamente) (Hinojosa-Medina 2004; Funes-Rodríquez et al. 2004).

*Especies residentes*: En general las especies que habitan la zona costera y aguas poco profundas de bahías presentan un alto grado de tolerancia y adaptación al estrés que impone el ambiente, como suele ser el amplio intervalo de temperatura en su variación diurna y a mayor

escala temporal. Por ejemplo, las larvas de P. maculatofasciatus, P. nebulifer, I. gilberti, Q. y-cauda y C. alepidota suelen ser encontradas en amplios intervalos de temperatura. Una estrategia del adulto que implica desoves múltiples y máximos definidos en tiempo y espacio (Lauth & Olson 1996), pudiera favorecer la supervivencia de organismos que toleran una amplia variedad de características ambientales. Así también, la sincronía del periodo de desove con el de máxima concentración de su alimento, debiera favorecer una mayor supervivencia. Si por alguna causa los eventos de desove llegasen a tener una alta mortalidad natural, la ocurrencia de desoves alternos (extremos de la moda) pudiera compensar los niveles poblacionales para mantener a la población. Por otro lado, las especies neríticas como S. japonicus y S. caeruleus con periodos definidos de reproducción en invierno-primavera, pudieran tener como estrategia emigrar y en el caso de especies de arrecife (P. maculatofasciatus, P. nebulifer) retardar o adelantar su periodo de mayor actividad reproductiva, cuando las características ambientales sean las apropiadas para el desarrollo gonadal y la supervivencia larval.

Efecto del calentamiento El Niño: La variabilidad interanual de la abundancia de larvas de peces tiene una estrecha correspondencia con los cambios en la temperatura superficial del mar, ya que algunas especies disminuyen o incrementan su abundancia de acuerdo al desarrollo del evento de calentamiento (El Niño) y la posterior relajación. Esta variabilidad se debe a cambios oceanográficos en el Sistema de la Corriente de California que modifican la distribución latitudinal de especies, generalmente asociadas a diferentes masas de agua con características físico-químicas particulares (Moser et al. 1987). Una mejor idea del impacto potencial de los eventos de calentamiento sobre la alteración de la fecundidad, tiempo del desove y condición de los huevos desovados, dependerá de evaluar de manera integral los aspectos fisiológicos que afectan a las especies durante su ciclo de vida (Bailey & Incze 1985, Kamler 1992).

Las larvas de especies de peces de origen nerítico y residentes fueron sensiblemente afectadas por la secuencia de cambios ambientales relacionados con el incremento de la temperatura desde junio de 1997, y que persistió hasta agosto de 1998 (15 meses); seguido de un periodo de enfriamiento relativo de septiembre a diciembre de 1998 en Bahía Magdalena (Leal-Espinoza 2006). Los efectos más notables fueron la modificación de los periodos reproductivos de algunas especies (S. caeruleus, S. japonicus, P. maculatofasciatus, P. nebulifer) y la abrupta disminución de la abundancia de otras, principalmente de especies residentes (Anchoa spp., Q. y-cauda, I. gilberti, C. alepidota, Gerreidae). Los resultados muestran que las especies de afinidad templada fueron considerablemente afectadas por El Niño, casi desapareciendo de invierno a primavera. Los cambios fueron relativamente menos pronunciados en las especies que ocurren durante el periodo cálido del año, excepto Gerreidae y Anchoa spp. Las especies con capacidad de emigrar como las especies neríticas,

simplemente modifican su distribución latitudinal para evitar los efectos del calentamiento mediante un desplazamiento poblacional hacia otras latitudes (Bailey & Incze 1985, Moser & Smith 1993, Félix-Uraga et al. 1996, Lluch-Belda et al. 1991); mientras que otras especies tal vez para compensar una alta mortalidad, su única posibilidad fue la de reducir su fecundidad durante las condiciones anómalas de calentamiento, y posteriormente incrementar cuando las condiciones se restablecieron (*P. maculatofasciatus, P. nebulifer, Anchoa* spp., *Q. y-cauda, I. gilberti, C. alepidota*, Gerreidae).

Distribución: La distribución geográfica de las larvas probablemente tiene relación con las estrategias reproductivas y el área de distribución de los adultos. Se ha planteado la hipótesis de que los estuarios y lagunas costeras son importantes como complemento del ciclo de vida de algunas especies (Yañez-Arancibia 1985, Krygier & Pearcy 1986). Esto es importante por la coexistencia de larvas de especies residentes y de origen nerítico, cuyos adultos de estos últimos ingresan para efectuar la reproducción (Funes-Rodríguez et al. 1998, Avendaño-Ibarra et al. 2004). La presencia numerosa de huevos de peces pelágico-costeros al oeste de la bahía y distribuidos hasta su parte más norteña, es evidencia de que el adulto ingresa al sistema durante sus respectivos periodos reproductivos (S. caeruleus, S. japonicus, Etrumeus teres) (Funes-Rodríguez et al. 2001). No obstante, pudiera existir la advección de larvas de peces como fue posible comprobar por la presencia de larvas de peces mesopelágicos al interior de la bahía, cercanas a la boca de acceso. La evidencia de advección de plancton y posiblemente micronecton por corrientes hacia el interior (6 km), es posible durante mareas vivas donde se aprecia la influencia de aqua del exterior (Gómez-Gutiérrez & Robinson 2006, Martínez-Gómez et al. 2007, Robinson & Gómez-Gutiérrez 2007). Esto también ha sido indicado por el predominio de especies de origen nerítico y oceánico en los alrededores de la boca de acceso y, una marcada dominancia de especies residentes confinadas a los márgenes interiores (Palomares-García 1989, Gárate-Lizárraga et al. 2000).

*Agradecimientos*. Este estudio fue apoyado por el Instituto Politécnico Nacional (IPN-SIP proyectos 20060142 y CONACYT 11716). Deseamos agradecer a G Aceves-Aceves, R Saldierna-Martínez y J Gómez-Gutiérrez del CICIMAR-IPN y a F Zavala del ICMYL por sus valiosos comentarios y, a R Avendaño-Ibarra y SPA Jiménez-Rosenberg por la determinación de algunas especies. Los autores pertenecen al SIN, SIBE, EDI y el alumno JDLE recibió apoyo PIFI y CONACYT para estudios de Posgrado.

### LITERATURA CITADA

- Acal DE (1990) Biomasa y rendimiento potencial de la sardina crinuda (*Opisthonema* spp.) en las costas de Sinaloa y Nayarit. Cienc Mar 16:61-73
- Aceves-Medina G, Jiménez-Rosenberg SPA, Hinojosa-Medina A, Funes-Rodríguez R, Saldierna-Martínez RJ, Smith PE

(2004) Fish larvae assemblages in the Gulf of California. J Fish Biol  $65{:}1{-}16$ 

- Allen MJ, Smith GB (1988) Atlas and zoogeography of common fishes in the Bering Sea and Northeastern Pacific. NOAA Tech Rep NMFS 66
- Arcos-Huitrón E, Torres-Villegas R (1990) Ciclo reproductor de la macarela del Pacífico Scomber japonicus Houttuyn (Pisces: Scombridae) en Bahía Magdalena, BCS, México. Invest Mar CICIMAR 5:37-46
- Avendaño-Ibarra R, Funes-Rodríguez R, Hinojosa-Medina A, González-Armas R, Aceves-Medina G (2004). Seasonal abundance of fish larvae in a subtropical lagoon in the west coast of the Baja California Peninsula. Est Coast Shelf Sci 61:125-135.
- Bailey KM, Incze IS (1985) El Niño and the early life history and recruitment of fishes in temperate marine waters. En: Wooster WS, Fluharty DL (eds). El Niño North effects in the Eastern Subartic Pacific Ocean. Univ Wash, Seattle, p 143-165
- Castro-Barrera T (1975) Ictioplancton de Bahía Magdalena, Baja California Sur. Cienc Mar 2:10-36
- De la Campa S, Gutiérrez C (1974) Distribución horizontal de huevos y larvas de sardina monterrey y larvas de sardina crinuda y bocona en el Golfo de California, en abril de 1972. Ser Cient IPN/Méx. 2
- De la Cruz-Agüero J, Galván-Magaña F, Abitia-Cárdenas L, Rodríguez-Romero J, F. Gutiérrez-Sánchez J (1994). Lista sistemática de los peces marinos de Bahía Magdalena, Baja California Sur, México. Cienc Mar 20:17-31
- Eschmeyer WN, Herald ES, Hammann H (1983). A field guide to Pacific coast fishes, North America. Houghton Mifflin, Boston
- Esquivel-Herrera A, SánchezHidalgo y Anda M, Esqueda-Escárcega, Haro-Garay MJ, GM, Sánchez-Ortíz CA, Funes-Rodríguez R, González-Armas R, Hernández-Trujillo S, Saldierna-Martínez RJ, Hernández-Rivas ME, Vera-Alejandre GR (1985) Investigaciones ictioplanctónicas en la costa occidental de Baja California Sur y Bahía Magdalena para evaluar la biomasa reproductora de sardina y anchoveta. Inf Tec Sec Pesca-Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas, La Paz, BCS, México
- Etnoyer P, Canny D, Mate B, Morgan L (2004) Persistent pelagic habitats in the Baja California to Bering Sea (B2B) ecoregion. Oceanogr 17:90–101
- Félix-Uraga R, Alvarado-Castillo RM, Carmona R (1996) The sardine fishery along the western coast of Baja California, 1981 to 1994. Calif Coop Ocean Fish Invest Rep 37:188-192
- Félix-Uraga R, Gómez-Munóz V, Quiñónez-Velázquez C, Melo-Barrera FN, Hill KT, García-Franco W (2005). Pacific sardine (Sardinops sagax) stock discrimination off the west coast of Baja California and Southern California using otolith morphometry. Calif Coop Ocean Fish Invest Rep 46:113-121
- Fischer W, Krupp F, Schneider W, Sommer C, Carpenter KE, Nieds VH (1995) Guía FAO para la identificación de especies para los fines de la pesca I-III. ONU. FAO, Roma
- Funes-Rodríguez R, González-Armas R, Avendaño-Ibarra R (1998) Distribución y abundancia de las larvas de peces en el sistema lagunar Bahía Magdalena-Almejas, Baja California Sur, México. Hidrobiológica 8:55-66
- Funes-Rodríguez R, Hinojosa-Medina A, Avendaño-Ibarra R, Hernández-Rivas ME, Saldierna-Martínez R, Watson W (2001) Spawning of small pelagic fish in Magdalena, Baja California Sur, México, at the beginning of the 1997-1998 El Niño event. Estuar Coast Mar Sci 53:653-664
- Funes-Rodríguez R, Hinojosa-Medina A, Aceves-Medina G, Saldierna-Martínez R, Hernández-Rivas M (2004) Diagnosis taxonómica y distribución de la abundancia de los

primeros estadios de vida de los peces pelágicos menores. En: Quiñónez-Velázquez C, Elorduy-Garay JF (eds). Ambiente y pesquería de pelágicos menores en el noroeste de México. Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas, La Paz, BCS, México, p 27-56

- Galván-Magaña F, Gutiérrez-Sánchez F, Abitia-Cárdenas LA, Rodríguez-Romero J (2000) The distribution and affinities of the shore fishes of the Baja California Sur Lagoons. En: Munawar M, Lawrence SG, Munawar IF, Malley DF (eds). Aquatic ecosystem of México: Status and scope, Backhuys Pub, Leiden, The Netherlands, p 383-398
- Gárate-Lizárraga I, Siqueiro-Beltrones DA, Verdugo-Díaz G, Guerrero-Caballero R (2000) Dinámica del fitoplancton en el sistema lagunar Magdalena-Almejas. En: Lluch-Belda D, Elorduy-Garay JF, Lluch-Cota SE, Ponce-Díaz G (eds) BACs: Centros de Actividad Biológica del Pacífico Mexicano, p 143-155
- Gluyas-Millán MG (1989) Época de reproducción, distribución de tallas y relación peso-longitud de la macarela del litoral de Baja California. Invest Mar CICIMAR 4:65-72
- Gómez-Gutiérrez J, Palomares-García R, De Silva-Dávila R, Carballido-Carranza MA, Martínez-López A (1999) Copepod daily egg production and growth rates in Bahía Magdalena, México. J Plankton Res 21:2227-2244
- Gómez-Gutiérrez J, Robinson C (2006) Tidal current transport of epibenthic swarms of the euphausiid *Nyctiphanes simplex* in a shallow, subtropical bay on Baja California peninsula, México. Mar Ecol Prog Ser 320:215–231
- Guerrero-Godínez R, Cervantes-Duarte R, Jiménez-Illescas A (1988) Nutrient variation during a tidal cycle at the mouth of a costal lagoon in the Northwest of México. Indian J Mar Sci 17:235-237
- Hammann MG, Nevárez-Martínez MO, Green-Ruiz Y (1998) Spawning habitat of Pacific sardine (*Sardinops sagax*) in the Gulf of California: egg and larval distribution 1956-1957 and 1971-1991. Calif Coop Ocean Fish Invest Rep 37:169-179
- Hernández-Vázquez S (1995) Distribución y abundancia de huevos y larvas de sardina y anchoveta en las costas de California y Baja California y su relación con factores ambientales: 1951-89. Tesis Doctoral, CICESE, Ensenada, BC, México
- Hickey BM (1979) The California current system-hypothesis and facts. Prog Oceanog 8:191-279
- Hinojosa-Medina A (2004) Bahía de La Paz: Hábitat de desove de peces de la familia clupeidae. Tesis de Maestría, Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas, La Paz, BCS, México
- Huyer A (1983) Coastal upwelling in the California Current system. Prog Oceanogr 12:259-284
- Kamler E (1992) Early life history of fish, an energetics approach. Chapman & Hall, London
- Kramer D (1970) Distributional atlas of fish eggs and larvae in the California Current region: Pacific sardine, Sardinops caerulea (Girard), 1951 through 1966. Calif Coop Oceanic Fish Invest Atlas 12
- Kruskal JB (1964) Non-metric multidimensional scaling: a numerical method. Psychometrika 29:115-129
- Krygier EE, Pearcy WG (1986) The role of estuarine and offshore nursery areas from young English sole, *Parophrys vetulus* Girard, of Oregon. Fish Bull 84:119-132
- Lauth RR, Olson RJ (1996) Distribución y abundancia de escómbridos larvales en relación con el ambiente físico en el noroeste del Recodo de Panamá. Int Amer Trop Tuna Comm 21:127-167
- Leal-Espinoza JD (2006) Distribución espacio-temporal de larvas de peces en Bahía Magdalena durante el desarrollo del evento El Niño (1997-1998). Tesis de Maestría, Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas, La Paz, BCS, México

- Lluch-Belda D, Hernández-Rivas M, Guerrero-Caballero R (2000) Variabilidad de la temperatura superficial del mar en Bahía Magdalena, BCS. Oceánides 15:1-23
- Lluch-Belda D, Lluch-Cota DB, Hernández-Vázquez S, Salinas-Zavala C, Schawartzlose RA (1991) Sardine and anchovy spawning as related to temperature and upwelling in the California current system. Calif Coop Ocean Fish Invest Rep 32:105-111
- Lynn RJ, Simpson J (1987) The California Current System: The seasonal variability of its physical chacaracteristics. J Geophys Res 92:12947-12966
- Malakoff D (2004) New tools reveal treasures at ocean hot spots. Science 304:1104-1105
- Martínez–Gómez S, Gómez–Gutiérrez J, Robinson CJ (2007) Transporte de agregaciones de zooplancton a través de la boca de Bahía Magdalena asociado a corrientes y frentes de marea. En: Funes-Rodríguez R, Gómez-Gutiérrez J, Palomares-García R (eds) Estudios ecológicos en Bahía Magdalena. CICIMAR-IPN, La Paz, Baja California Sur, México, p 189-203
- Mathews CP (1975) El desarrollo de la zona de Bahía Magdalena. Un panorama bio-socieconómico en una región en pleno desarrollo. Cienc Mar 2:47-49
- McHugh JL (1985) The estuarine ecosystem integrated. Foreward. En: Yañez-Arancibia A (ed). Fish community ecology in estuaries an coastal Lagoons: Towards an ecosystem integration, p 9-16
- McCune B, Mefford MJ (1999) Multivariate analysis of ecological data. PC-ORD CD version 4.26 beta. MjM Software. Gleneden Beach, Oregon, USA. WWW page, http:// www.pcord.com
- McCune B, Grace JB, Urban DL (2002) Analysis of ecological communities. MjM Sofware Desing. Gleneden Beach, Oregon, USA
- Miller DJ, Lea RN (1972) Guide to the coastal marine fishes of California. Fish Bull Calif Dep Fish Game 157
- Moser HG (1996) The early stages of fishes in the California Current region. Calif Coop Fish Invest Atlas 33, Allen Press, Inc, Lawrence, KS
- Moser HG, Smith PE (1993) Larval assemblages of the California Current region and their horizontal and vertical distributions across front. Bull Mar Sci 53:645-691
- Moser HG, Smith PE, Eber LE (1987) Larval fish assemblages in the California current region, 1954-1960, a period of dynamic environmental change. Calif Coop Ocean Fish Invest Rep 28:97-127
- Moser HG, Ahlstrom EH, Kramer D, Stevens EG (1974) Distribution and abundance of fish eggs and larvae in the Gulf of California. Calif Coop Oceanic Fish Invest Rep 17:112-130
- Moser HG, Charter RL, Smith PE, Ambrose DA, Charter SR, Meyer CA, Sandknop EM, Watson W (1993) Distributional atlas of fish larvae and eggs in the California Current region: taxa with 1000 or more total larvae, 1951 through 1984. Calif Coop Oceanic Fish Invest Atlas 31
- Nevárez-Martínez MO (1990) Producción de huevos de la sardina monterrey (*Sardinops sagax caeruleus*) en el Golfo de California: Una evaluación y crítica. Tesis de Maestría, Centro de Investigación Científica y Educación Superior de Ensenada, Ensenada, BC, México
- Obeso-Nieblas M, Gaviño-Rodríguez JH, Jiménez-Illescas R (1999) Modelación de la marea en el sistema lagunar Bahía Magdalena, BCS, México. Oceánides 14:79-88
- Palomares-García R (1989) Análisis de la variación espacio-temporal de los copépodos planctónicos en Bahía Magdalena Baja California Sur (1983-1984). Tesis de Maestría, Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas, La Paz, BCS, México
- Palomares-García R, Martínez-López A, De Silva-Dávila R,

Funes-Rodríguez R, Carballido-Carranza MA, Avendaño-Ibarra R, Hinojosa-Medina A, López-Ibarra GA (2003) Biological effects of El Niño 97-98 in a shallow subtropical ecosystem. Geofis Int 42:455-466

- Robinson C, Gómez–Gutiérrez J, Gómez–Aguirre S (2007) Efecto de la dinámica de las corrientes de marea en los organismos pelágicos en la boca de Bahía Magdalena. En: Funes-Rodríguez R, Gómez-Gutiérrez J, Palomares-García R (eds) Estudios ecológicos en Bahía Magdalena. CICIMAR-IPN, La Paz, Baja California Sur, México, p 45-58
- Rodríguez–Mata LM (2006) Estudio a microescala de los nutrientes y variables hidrológicas en Bahía Magdalena, B.C.S., México. Tesis de Maestría, Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas, La Paz, BCS, México
- Saldierna-Martínez RJ, Sánchez-Ortíz CA, Vera-Alejandre GR (1987) Estudios sobre los primeros estadios de vida de las sardinas crinuda Opisthonema libertate, y monterey, Sardinops sagax, en Bahía Magdalena, BCS. Tesis de Licenciatura, Universidad Autónoma de Baja California Sur, La Paz, BCS, México
- Sánchez-Montante O (2004) Hidrodinámica y transporte de masas en el sistema lagunar Bahía Magdalena-Bahía Almejas, BCS, México, modelación y experimentación. Tesis de Maestría, Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas, La Paz, BCS, México
- Sánchez Montante O, Zaitsev O, Saldivar Reyes M (2007) Condiciones hidrofísicas en el sistema lagunar Bahía

Magdalena-Almejas. En: Funes-Rodríguez R, Gómez-Gutiérrez J, Palomares-García R (eds) Estudios ecológicos en Bahía Magdalena. CICIMAR-IPN, La Paz, Baja California Sur, México, p 1-28

- Sanders HL (1960) Benthic studies in Buzzard Bay. III. The structure of the soft-bottom community. Limnol Oceanogr 5:138-153
- Vera-Alejandre GR (1993) El desove de las sardinas crinuda y monterrey en Bahía Magdalena: un análisis a corta escala de tiempo. Tesis de Maestría, Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas, La Paz, BCS, México
- Yañez-Arancibia A, Lara-Domínguez AL, Alvarez-Guillen H (1985) Fish community ecology and dynamic in estuarine inlets. En: Yañez-Arancibia A. (ed). Fish Community Ecology in estuaries an Coastal Lagoons: Towards an Ecosystem Integration. Universidad Nacional Autónoma de México, p 127-168
- Zaytsev O, Cervantes-Duarte R, Sánchez-Montante O, Gallegos-García A (2003) Coastal upwelling activity on the Pacific shelf of the Baja California Peninsula. J Oceanogr 59:489-502
- Zaytsev O, Sánchez-Montante O, Robinson C (2007) Características del ambiente hidrofísico de la plataforma continental y zona oceánica adyacente al sistema lagunar Bahía Magdalena-Almejas. En: Funes-Rodríguez R, Gómez-Gutiérrez J, Palomares-García R (eds) Estudios ecológicos en Bahía Magdalena. CICIMAR-IPN, La Paz, Baja California Sur, México, p 29-43

Funes–Rodríguez R, Leal–Espinoza JD, Hinojosa–Medina A, Hernández–Rivas ME, Flores–Coto C (2007) Composición, distribución y abundancia de larvas de peces en Bahía Magdalena. En: Funes-Rodríguez R, Gómez-Gutiérrez J, Palomares-García R (eds) Estudios ecológicos en Bahía Magdalena. CICIMAR-IPN, La Paz, Baja California Sur, México, p 205-219

Apéndice 1. Proporción de la abundancia (P %) y frecuencia de ocurrencia (F %) de larvas de peces en Bahía Magdalena, Baja California Sur, México durante 1997-1998

Econogias, géneros y familias	D 0/	E 0/	Econocios, géneros y familias	D 0/	E 0/
Especies, generos y laminas	Р %	F %	Especies, generos y familias	P %	F %
CLASE ACTINOPTERYGII			Familia APOGONIDAE		
Orden ANGUILIFORMES			Apogon atricaudus (Jordan & McGregor, 1898)	0.002	0.340
Familia <b>OPHICHTHIDAE</b>			Apogon retrosella (Gill, 1863)	0.047	0.680
Ophichthidae tipo 1	0.010	0.680	Familia CARANGIDAE		
Ophichthidae tipo 2	0.002	0.340	Carangidae	0.031	1.361
Familia CONGRIDAE			Caranx tipo 1	0.027	1.701
Congridae tipo 1	0.002	0.340	Chloroscombrus orqueta (Jordan & Gilbert 1883)	0.019	2.381
Orden CLUPFIFORMES	0.002	010 10	Decanterus tino 1	0.051	1 701
Familia CLUPEIDAE			Gnathanodon speciosus (Forsskål 1775)	0.001	0.340
Etrumous toros (Do Kay, 1642)	0 1 2 7	1 100	Oligophitos squrus (Plach & Schneider, 1901)	0.000	5 700
Harongula thriaging (Jordan & Cilbert 1992)	0.137	1 261	Oligophies sturius (bloch & Schneider, 1001)	0.100	2.061
Gibert, 1662)	0.011	1.301	Ongophies tipo 1	0.031	3.001
Opistnonema spp. (Gill, 1861)	2.441	16.327	Selene peruviana (Guichenot, 1865)	0.002	0.340
Sardinops caeruleus (Mitchill, 1815)	1.817	15.306	Seriola tipo 1	0.018	1.701
Familia ENGRAULIDAE			Familia LUTJANIDAE		
Anchoa spp. (Jordan & Evermann, 1927)	10.363	31.293	Lutjanus argentiventris (Peters, 1869)	0.002	0.340
Cetengraulis mysticetus (Günther, 1867)	0.029	2.041	Familia <b>GERREIDAE</b>		
Orden STOMIIFORMES			Diapterus peruvianus (Cuvier, 1830)	2.095	7.394
Familia PHOSICHTHYIDAE			Eucinostomus currani Yáñez-Aranciba 1980	1.020	1.247
Vinciguerria lucetia (Garman, 1899)	0.017	2.041	Eucinostomus dowii (Gill, 1863)	8.421	9.181
Orden AULOPIFORMES			Eucinostomus gracilis (Gill, 1862)	17.351	16.384
Familia SYNODONTIDAE			Gerreidae	1.231	2.000
Synodus spp. (Bloch & Schneider, 1801)	0.011	1.020	Familia HAEMULIDAE	4.116	26.190
Orden MYCTOPHIFORMES			Haemulidae tipo 1	0.312	7.143
Familia MYCTOPHIDAE			Haemulidae tipo 2	0.003	0.340
Ceratoscopelus townsendi (Figenmann & Figenmann			Pomadasys tipo 1	0.000	0.040
	0.002	0.340	Tomadasys tipo 1	0.129	3.061
Orden ODUDUEODMES			Esmilie SDADIDAE		
			Calamaa harabarana (Lashiratan 1000)	0 171	10.045
Familia OPHIDIIDAE		0.040	Calamus brachysomus (Lockington, 1880)	0.171	12.245
Lepophidium negropinna (Hildebrand & Barton, 1949)	0.002	0.340	Familia SCIANIDAE		
Ophidion scrippsae (Hubbs, 1916)	0.002	0.340	Bardiella icistia (Jordan & Gilbert, 1882)	0.035	1.361
Orden ATHERINIFORMES			Cheilotrema saturnum (Girard, 1858)	0.007	0.340
Familia ATHERINIDAE			Cynoscion tipo 1	0.061	5.442
Atherinella eriarcha (Jordan & Gilbert, 1882)	0.007	0.680	Larimus tipo 1	0.045	0.340
Atherinella nepenthe (Myers & Wade, 1942)	0.002	0.340	Menticirrus undulatus (Girard, 1854)	0.027	0.340
Atherinidae tipo 1			Menticirrus tipo 1	0.029	2.041
Atherinops affinis (Ayres, 1860)	0.010	1.701	Micropogonias ectenes (Jordan & Gilbert, 1882)	0.064	2.381
Atherinopsis californiensis (Girard, 1854)	0.002	0.340	Scianidae	0.027	3.401
Orden BELONIFORMES			Familia <b>POLYNEMIDAE</b>		
Familia BELONIDAE			Polydactilus approximans (Lay & Bennett 1839)	0.002	0.340
Strongylurg exilis (Girard 1854)	0.001	0.340	Familia MULUDAE	0.002	0.040
Eamilia HEMIDAMDHIDAE	0.001	0.540	Mullidae tipe 1	0.406	10.884
Homiramphus saltator (Cilbort & Starks, 1004)	0.012	1 261	Esmilia KVRHOSIDAE	0.400	2 061
Humarhamphus roses (Jordan & Cilbert 1990)	0.012	5 102	Vumbosidos tino 1	0.01	2.001
Esmilia EXOCOETIDAE	0.140	5.102	Kyphosidae tipo 1 Kyphosidae tipo 1	0.019	2.041
	0.007	0.004	Kypnosus analogus (Gill, 1863)	0.143	5.442
Fodiatur acutus (Valenciennes, 1847)	0.027	2.381	SubOrden MUGILOIDEI		
Hirundichthys spp. (Breder, 1928)	0.002	0.340	Familia MUGILIDAE		
Oxyporhamphus micropterus (Valenciennes, 1847)	0.011	1.701	Mugil spp. (Linnaeus, 1758)	0.012	1.361
Prognichthys tringa (Breder, 1928)	0.002	0.340	Familia <b>POMACENTRIDAE</b>		
Orden STEPHANOBERYCIFORMES			Abudefduf troschelli (Gill, 1862)	0.091	4.082
Familia <b>MELAMPHAIDAE</b>			Chromis tipo 1	0.009	1.701
Melamphaes spp. (Günther, 1864)	0.002	0.330	Hypsypops rubicundus (Girard, 1854)	0.015	1.361
Orden BERYCIFORMES			Stegastes rectifraenum (Gill, 1862)	0.012	0.680
Familia HOLOCENTRIDAE			Pomacentridae	0.016	1.701
Myripristis spp. (Cuvier, 1829)	0.001	0.340	Familia CIRRHITIDAE	0.015	1.299
Orden SYNGNATHIFORMES			Cirrhitidae tipo 1	0.026	1.361
Familia SYNGNATHIDAE	0.019	2.381	SubOrden LABRIODEI		
Cosmocampus arctus (Jenkins & Evermann, 1889)	0.008	1.020	Familia LABRIDAE		
Hippocampus ingons (Cirard 1858)	0.005	2 7 2 1	Bodianus diplotaonia (Cill 1862)	0.011	0340
Surgenethidee tipe 1	0.025	2.721	Halishooros somisinatus (Auros, 1850)	0.011	0.540
Synghathidae upo 1	0.019	1 261	SubOrden DI ENNIQUEI	0.000	0.000
Syngnamus autiscus (Swain, 1002)	0.008	1.301			
Syngnainus lepiornynchus (Girara, 1854)	0.004	0.680	Familia IRIPTERYGIIDAE	0.000	C 4 C D
Orden SCORPAENIFORMES			Axociinus carminalis (Jordan & Gilbert, 1882)	0.600	6.463
SubOrden PLATYCEPHALOIDEI			Familia LABRISOMIDAE		
Familia TRIGLIDAE			Exerpes asper (Jenkins & Evermann, 1889)	0.012	0.680
Prionotus ruscarius (Gilbert & Starks, 1904)	0.031	1.701	Labrisomus multiporosus (Hubbs, 1953)	0.030	3.741
Orden PERCIFORMES			Labrisomus xanti (Gill, 1860)	0.025	1.701
SubOrden PERCOIDEI			Malacoctenus hubbsi (Springer, 1959)	0.012	0.680
Familia SERRANIDAE	0.010	0.680	Paraclinus integripinnis (Smith, 1880)	0.001	0.340
Anthiinae			Familia CHAENOPSIDAE		
Diplectrum tipo 1	0.008	0.680	Chaenopsis alepidota (Gilbert, 1890)	1.326	21.769
Diplectrum tipo 2	0.002	0.340	Coralliozetus spp. (Evermann & Marsh, 1899)	0.023	1.299
Epinephelinae			Stathmonotus sinuscalifornici (Chabanaud,	0.400	0.001
			1942)	0.139	2.381
Paralabrax auroguttatus (Walford, 1936)	0.016	1.361			
Paralabrax maculatofasciatus (Steindachner, 1868)	0.663	14,966			
Paralabrax nebulifer (Girard 1854)	1.590	15.986			

Apéndice 1 (continuación). Proporción de la abundancia (P %) y frecuencia de ocurrencia (F %) de larvas de peces en Bahía Magdalena, Baja California Sur, México durante 1997-1998

Especies, géneros y familias	Р%	F %	Especies, géneros y familias	Р%	F %
Familia <b>BLENNIIDAE</b>			Familia DACTYLOSCOPIDAE		
Hypsoblennius gentilis (Girard, 1854)	0.28	2.721	Dactyloscopidae tipo 1	0.101	5.442
Hypsoblennius brevipinnis (Günther, 1861)	0.010	0.340	SubOrden SCOMBROIDEI		
Hypsoblennius gilberti (Jordan, 1882)	0.139	4.422	Familia SCOMBRIDAE		
Hypsoblennius jenkinsi (Jordan & Evermann, 1896)	0.224	7.483	Auxis spp. (Cuvier, 1829)	0.019	1.020
Ophioblennius steindachneri (Jordan & Evermann,	0.002	0.240	Scomber japonicus (Houttuyn, 1782)	1 026	14 296
1898)	0.002	0.340		1.920	14.200
SubOrden GOBIOIDEI			Orden PLEURONECTIFORMES		
Familia GOBIIDAE			Familia PARALICHTHYDAE		
Bathygobius ramosus? (Ginsburg, 1947)	0.002	0.340	Etropus crossotus (Jordan & Gilbert, 1882)	0.603	16.667
Gillichthys mirabilis (Cooper, 1864)	0.037	3.741	Paralichthys californicus (Ayres, 1859)	0.060	4.762
Gobiidae	0.110	3.401	Xystreurys liolepis (Jordan & Gilbert, 1880)	0.006	1.020
llypnus gilberti (Eigenmann & Eigenmann, 1889)	29.249	45.578	Familia ACHIRIDAE		
Lythrypnus dalli (Gilbert, 1890)	0.003	0.340	Achirus mazatlanus (Steindachner, 1869)	0.295	9.184
Lythrypnus zebra (Gilbert, 1890)	0.002	0.340	Familia CYNOGLOSSIDAE		
Quietula y-cauda (Jenkins & Evermann, 1889)	11.452	32.653	Symphurus spp. (Rafinesque, 1810)	0.016	1.361
Familia MICRODESMIDAE			Orden TETRAODONTIFORMES		
Microdesmidae	0.004	0.340	Familia BALISTIDAE		
SubOrden ACANTHUROIDEI			Balistes polylepis (Steindachner, 1876)	0.008	0.680
Familia <b>EPHIPPIDAE</b>			Familia TETRAODONTIDAE		
Chaetodipterus zonatus (Girard, 1858)	0.036	2.041	Sphoeroides lobatus (Steindachner, 1870)	0.029	0.680
SubOrden SPHYRAENOIDEI			Sphoeroides tipo 1	0.386	7.143
Familia SPHYRAENIDAE					
Sphyraena ensis (Jordan & Gilbert, 1882)	0.014	1.020			
# Sección IV

# Nécton

# Parámetros poblacionales de la sardina del Pacífico *Sardinops sagax* y su contribución a la pesquería de Bahía Magdalena: enfoque de stocks

# Roberto Félix–Uraga', Felipe N. Melo–Barrera, Casimiro Quiñonez–Velázquez

Departamento de Pesquerías y Biología Marina. Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas, Instituto Politécnico Nacional, Av IPN s/n. Col Playa Palo de Sta. Rita, AP 592, La Paz, 23096, Baja California Sur

RESUMEN: La estructura de edad de la sardina del Pacífico, *Sardinops sagax*, indicó que las capturas de este recurso en Bahía Magdalena, Isla Cedros y Ensenada estuvieron integradas por 6 grupos de edad durante 1981 a 2002. En la década de los 80' predominaron los individuos del grupo de edad 2 y en los 90' los individuos del grupo de edad 1. El modelo de von Bertalanffy indicó una alta tasa de crecimiento individual de la sardina del Pacífico, alcanzando ~70% de su longitud máxima durante el primer año de vida. Las sardinas en Bahía Magdalena presentaron un valor de  $L_{\infty}$  menor y una tasa de crecimiento mayor que las del stock de Ensenada. Los elevados reclutamientos registrados en 1984, 1991, 1994 y 1999 tuvieron una influencia directa en los incrementos de la captura de sardina en la costa oeste de la Península de Baja California en años posteriores. La estimación de biomasa de la sardina del Pacífico mediante el análisis de la población virtual (M=0.4 y F=0.5), indicó que el stock templado alcanzó un máximo de biomasa en 1996 (>333000 t). Este stock templado tuvo el mayor impacto en las capturas de sardina en la costa oeste de la Península de Baja California representando más del 83% de la captura total, mientras que el stock cálido representó el 17%.

PALABRAS CLAVE: Sardina del Pacífico · Stock · Edad · Crecimiento · Biomasa

ABSTRACT: The age composition of the Pacific sardine, *Sardinops sagax*, showed that landings of this resource in Bay Magdalena, Cedros Island and Ensenada were integrated by 6 age groups during 1981 to 2002. In the 80's the individuals of the age group 2 prevailed in landings and in the 90's were the individuals of the age group 1. The von Bertalanffy's model showed a high Pacific sardine individual growth rate, reaching ~70% of the maximum length during its first life's year. Sardines in Magdalena Bay showed a smaller value of  $L_{\infty}$  and higher growth rate that those of the stock from Ensenada. The relatively high recruitments registered in 1984, 1991, 1994 and 1999 had a direct influence on the increments of the sardine catch in the West coast of the peninsula of Baja California in further years. The biomass estimated for the Pacific sardine by means of the virtual population analysis (M=0.4 and F=0.5), indicated that the temperate stock reached a maximum of biomass in 1996 (>333000 t). The temperate stock of the Pacific sardine had a bigger impact in the catches in the West coast of the peninsula of Baja California, representing more than 83%, while the warm stock represented 17%.

KEY WORDS: Pacific Sardine  $\cdot$  Stock  $\cdot$  Age  $\cdot$  Growth  $\cdot$  Biomass

# INTRODUCCIÓN

Las características zoogeográficas más significativas de las especies de sardina son: (1) su extensa distribución anti-tropical; (2) su asociación a los sistemas de corrientes de borde oriental de alta productividad de los océanos; y (3) amplias fluctuaciones espacio temporales en abundancia poblacional. Cuando su tamaño poblacional es elevado, las sardinas dominan por completo la zona nerítica de estos sistemas de corriente (Parrish et al. 1989). La sardina del Pacífico, Sardinops sagax, se distribuye desde el sur de Alaska hasta el Golfo de California. Esta especie, sostuvo la pesquería más grande de Norteamérica entre 1930 y 1945, alcanzando una captura máxima de  $7.9 \times 10^5$  t en 1936-37 y un promedio de  $6 \times 10^5$  t anual. La pesquería empezó a colapsarse a finales de los 40's y para 1967 la pesquería dejo de ser comercialmente redituable en California y Oregon (Radovich 1982).

En México, la pesca de la sardina del Pacífico se inició en 1929 frente a las costas de Ensenada, con capturas de aproximadamente 2600 t anuales. El colapso de la pesquería en California, que incluyó también la región de Ensenada, determinó el desplazamiento hacia el sur de la pesquería mexicana hacia nuevas áreas de pesca como Isla Cedros, Bahía Magdalena y el Golfo de California (Félix-Uraga 1986).

Al inicio de la pesquería de sardina en California, era común capturar individuos de hasta 11 años de edad y 270 mm de longitud estándar, aunque predominaban los de 2 a 4 años, con tallas entre 196 mm y 235 mm (Felin & Phillips 1948, Clark & Marr 1955, Felin et al. 1958, Wolf 1961). En la parte norte de su rango de distribución se encontraba un mayor número de sardinas de 8 años de edad, mientras que en la parte sur estos grandes ejemplares eran sumamente escasos. Cuando se presentó la crisis en la pesquería, al final de los 40's, la edad promedio de los peces era de 1 y 2 años (Felin & Phillips 1948). El crecimiento individual de la sardina del Pacífico es notablemente rápido, alcanzando > 70% de la talla máxima (L<sub>∞</sub>) en el primer año de vida (Félix-Uraga 1990, Quiñónez-Velázquez et al. 2002). Holt (1959) reportó que las tasas de crecimiento individual de las sardinas se incrementan latitudinalmente de norte a sur, pero que las tallas máximas tienden a disminuir.

El reclutamiento de la sardina es altamente variable y está relacionado con procesos ambientales que ocurren en escala interanual e interdecenal. Algunos estudios de la relación stock reclutamiento muestran que la abundancia de sardinas jóvenes disminuye con altos niveles de biomasa desovante (Clark & Marr 1955), mientras que en otros estudios no muestran ninguna relación (Murphy 1966, MacCall 1979). Estudios más recientes ponen de manifiesto que tanto los factores denso-dependientes así como los factores ambientales son altamente influyentes en el éxito del reclutamiento (Jacobson & MacCall 1995).

Actualmente se tiene conceptualizado que las poblaciones de sardina están integradas de varios stocks; sustentado por la presencia de varias áreas de desove separadas geográficamente (Parrish et al. 1989). La existencia de una estructura por stocks en la población de sardina del Pacífico (*Sardinops sagax*) a lo largo de su rango geográfico de distribución, ha sido discutida en los últimos sesenta años (Clark 1947, Felin 1954, Clark & Marr 1955, Radovich 1982, Félix-Uraga et al. 1996, 2004a, De La Cruz-Agüero & García-Rodríguez 2004).

A pesar de la poca variabilidad genética entre sardinas de estos grupos poblacionales (Hedgecock et al. 1989), se han encontrado evidencias fenotípicas que sustentan la existencia de varios stocks de sardina del Pacífico (Radovich 1982, Félix-Uraga et al. 2004a). Recientemente, con base en datos de captura, temperatura superficial del mar y morfométricos de los otolitos sagita de la sardina del Pacífico, Félix-Uraga et al. (2005) demostraron la existencia de tres stocks en la costa oeste de la Península de Baja California y el sur de California. Estos stocks se denominaron: stock frío el más norteño, y los stocks templado y cálido localizados en la costas de Baja California, siendo el cálido el stock mas sureño.

Debido a la gran variabilidad en abundancia, deducida de la disponibilidad de la sardina del Pacífico a las pesquerías, es necesario hacer un análisis de su dinámica poblacional con un enfoque de stocks. Esta estrategia permitiría fortalecer las políticas de manejo de este recurso explotado comercialmente en Canadá, EUA y México. Para el manejo adecuado de las pesquerías que explotan varios stocks, es esencial que cada uno sea identificado y se evalúe la magnitud de su contribución a la captura total permitiendo evaluar el efecto de la presión de la pesca por stock (Pella & Milner 1987, Utter 1991). En el estudio de los parámetros poblacionales de la sardina del Pacífico se debe considerar la estimación de la variación en la estructura poblacional de tallas y edades, magnitud del reclutamiento, mortalidad, crecimiento individual, abundancia de cada stock e importancia relativa en cada zona de pesca. En el presente trabajo, abordamos esos aspectos de la sardina del Pacífico con énfasis en los stocks templado y cálido distribuidos a lo largo de la costa oeste de la Península de Baja California (PBC) durante el período de 1981 a 2002. Esta revisión incluye parte del material publicado por Félix-Uraga et al. (2004b) (1981-2001) e información sobre parámetros poblacionales, no publicados con anterioridad, con la intención de proporcionar una revisión actualizada de el estado del conocimiento de los stock de sardinas del Pacífico y su importancia relativa en la captura de Bahía Magdalena.

La flota cerquera de sardina en Bahía Magdalena esta integrada, en promedio, por seis barcos con una capacidad de acarreo que varía entre 100 a 120 t, los cuales pescan principalmente durante el oscuro lunar. La mayoría de los lances de pesca son realizados en el interior de la bahía, pescando ocasionalmente fuera en lugares como San Juanico y Santa Maria a 180 km y 30 km, al norte de la boca de Bahía Magdalena, respectivamente.

# **MATERIAL Y MÉTODOS**

**Muestreo.** Los datos para esta revisión provienen de los muestreos mensuales realizados por personal del Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas (CICIMAR) de la pesquería de sardina en Bahía Magdalena durante 1981 a 2002, y en Isla de Cedros desde 1985 a 1987 y en 1994. Los datos de la zona de Ensenada, provienen de los muestreos realizados por personal del Centro Regional de Investigación Pesquera-El Sauzal de 1989 a 2002. La información de las capturas mensuales de sardina durante el periodo de estudio fueron obtenidos directamente de los registros en las plantas enlatadoras que operan en cada una de las zonas de pesca.

El muestreo consistió en recolectar al azar aproximadamente 100 individuos de la banda de desembarque o directamente de la bodega de los barcos. A estos especimenes se midió la longitud estándar y se registró su frecuencia de aparición en intervalos de 5 mm (muestreo masivo). De cada intervalo de longitud se eligieron al azar hasta cinco peces (muestra biológica). La muestra biológica se trasladó al laboratorio donde se registraron las longitudes estándar y total ( $\pm$  1 mm), peso total ( $\pm$  1 g) y se recoló el par de otolitos sagita para determinar la edad.

Determinación de la edad. Los otolitos se lavaron con agua y jabón y se montaron sobre portaobjetos de vidrio con resina sintética (Cytoseal XYL ®). Para su lectura se usó un microscopio estereoscópico (16'), con luz reflejada sobre un fondo oscuro. Bajo estas condiciones se observaron bandas opacas (blancas) y hialinas (oscuras). La edad se determinó contando el número de bandas hialinas en los otolitos (Fitch 1951, Félix-Uraga & Ramírez-Rodríguez 1989). Se estableció que un ciclo anual de crecimiento (marca de crecimiento) está representado por el conjunto de una banda opaca y una hialina (Barnes & Foreman 1994, Quiñónez-Velázquez et al. 2002). Las lecturas se realizaron por dos personas de manera independiente y se compararon los resultados. En los casos en que se encontró diferencia, los otolitos se volvieron a leer simultáneamente por las dos personas y se llegó a una decisión conjunta.

**Estructura de tallas y edades.** La estructura anual de tallas y edades de la sardina del Pacífico para cada zona de pesca se estimó con base en los muestreos masivos y biológicos. Con la información de los muestreos biológicos se elaboraron claves edad-longitud, para asignar edad a las sardinas de los muestreos masivos correspondientes, con la finalidad de extrapolar los resultados a la captura del barco, luego a la captura del mes y finalmente a la captura total anual (Gulland 1966, Holden & Raitt 1975). También se estimó la estructura de edades en cada zona de pesca y para cada stock de sardina para todo el periodo de estudio.

**Crecimiento individual**. Con base en la información de edad y talla se estimaron los parámetros del modelo de von Bertalanffy para describir el crecimiento individual de la sardina del Pacífico por zona de pesca y por stock (la separación por stock se hizo de acuerdo a los criterios propuestos por Félix-Uraga et al. (2004a, 2005). Los parámetros del modelo de crecimiento se estimaron mediante la opción de ajuste no lineal contenida en el programa para computadora Statistica® ver. 6.

**Reclutamiento**. Del número de individuos capturados anualmente por grupo de edad (estructura anual de edades), se separaron y se integraron los individuos correspondientes a cada cohorte. Con esto se tuvo un indicador del reclutamiento de cada cohorte en la captura de sardina por zona de pesca y por stock. También se estimó el indicador del reclutamiento de sardina del Pacífico para la costa oeste de la PBC, y se evaluó su impacto en la captura total de sardina en la zona.

**Estimación de abundancia**. Las estimaciones de abundancia por stocks de la sardina del Pacífico se realizaron mediante el análisis de población virtual (APV) utilizando el número de individuos capturados por edad por zona de pesca de acuerdo al método de Pope (1972). El valor de la tasa instantánea de mortalidad natural (M), fue estimado de acuerdo a la fórmula empírica de Pauly (Sparre & Venema 1995). Posteriormente, los datos de abundancia se multiplicaron por el peso promedio de los individuos a cada edad para convertirlos a biomasa.

Importancia relativa de los stocks de sardina por zonas de pesca. La importancia relativa de los stocks en la captura de sardina en cada zona de pesca, fue estimada utilizando la captura mensual de sardina y el promedio mensual de la temperatura superficial del mar (TSM) registrada en cada zona, considerando el intervalo de temperatura al que cada stocks de sardina se distribuye de acuerdo a Félix-Uraga et al. (2004a, 2005).

# RESULTADOS

Las capturas de sardina del Pacífico en la costa oeste de la Península de Baja California (PBC) se descargan en Bahía Magdalena, B.C.S., Isla Cedros, B.C., y Ensenada, B.C. Durante el periodo de 1981 a 2002 se registraron los datos biológicos de 26360 individuos provenientes de 1281 muestreos biológicos (Tabla 1).

#### Cambios en la captura comercial

La captura total de sardina del Pacífico presentó un incremento sostenido en las pesquerías de la costa oeste de la PBC desde 1984 cuando se registró un mínimo de 3500 t, hasta el año 2002 cuando se capturaron más de 94000 t (Fig. 1). En la década de los 80's, la sardina se capturó principalmente en Bahía Magdalena donde se descargaron en promedio 10000 t anuales y en Isla Cedros la captura anual fue <3000 t. La pesca de sardina en Isla Cedros finalizó en 1995, debido a problemas económicos de la planta procesadora. A principios de la década de los 90's, la disponibilidad de sardina presentó un gran incremento en la parte norte de la Península. En 1991, la captura en Ensenada fue >31000 t y alcanzó un máximo de 68400 t en 1997 (Fig. 1).

Tabla 1. Número de muestreos masivos y biológicos y número de individuos registrados de sardina del Pacífico realizados en la costa oeste de la Península de Baja California, de 1981 a 2002

	Muestreo	No. de	Muestreo	No. de
Lugar	Masivo	Individuos	Biológico	Individuos
Bahía Magdalena	1356	62743	467	16271
Isla Cedros	50	3837	41	1318
Ensenada	692	12288	773	8771
Total	2098	78868	1281	26360



Fig. 1. Captura anual de sardina del Pacífico en las pesquerías de la costa oeste en la Península de Baja California, de 1981 a 2002. Figura modificada de Félix-Uraga et al. (2004b)

#### Estructura de tallas y edades

La estructura anual de tallas y edades de la sardina del Pacífico descargada en Bahía Magdalena durante 1981 a 2002 presenta individuos entre 80 y 220 mm, aunque la mayor proporción se localizan entre 150 y 180 mm de longitud estándar (Fig. 2). La línea discontinua ubicada a 150 mm de longitud estándar indica la talla mínima legal de captura (NOM-003-PESC-1993). En Bahía Magdalena, la captura estuvo integrada por pocos grupos de edad, aunque en algunos años se presentaron sardinas con siete años de edad. En la década de los 80's predominaron los individuos del grupo de edad 2 seguidos del grupo 1, mientras que en la década de los 90's la importancia se invirtió, dominando el grupo de edad 1.

En Ensenada, la estructura de tallas de la captura de sardina del Pacífico en el periodo de 1989 a 2002 (Fig. 3) varió entre 100 y 260 mm de longitud estándar, aunque la mayoría presentaron tallas entre 150 y 220 mm. La estructura de edades fue similar a la encontrada en Bahía Magdalena, pocos grupos de edad, predominando los individuos del grupo de edad 1.

El análisis por zona de pesca como por stock, mostró que la estructura de edades de la sardina del Pacífico de 1981 a 2002, fue similar tanto en el número como en la importancia relativa de cada uno de los grupos de edad (Fig. 4a, 4b).

### **Crecimiento individual**

La distribución de tallas por grupo de edad de la sardina del Pacífico en Bahía Magdalena y Ensenada mostró una gran variabilidad, particularmente en los grupos de edad 0, 1 y 2 (Fig. 5). Los grupos modales presentaron una progresión donde los individuos de mayor edad tienen tallas más grandes, aunque con cierto grado de traslape, y los incrementos en talla de los grupos modales van disminuyendo con la edad. Se observó un patrón similar para los stocks cálido y templado de la sardina del Pacífico (Fig. 6). Los parámetros del modelo de crecimiento individual de von Bertalanffy, por zona de pesca y stock de sardina del Pacífico se presentan en la tabla 2. Existe incremento de  $L_{\infty}$  por zona desde Bahía Magdalena hacia Ensenada. Una situación inversa se presentó con el parámetro k, el cual disminuyó. Por otra parte considerando esta información por stock, el menor valor de L<sub>s</sub> fue para el stock cálido y el mayor para el stock templado, mientras que para el parámetro k la situación fue inversa.

Las curvas de crecimiento individual por zona de pesca de la sardina del Pacífico muestran que las sardinas más pequeñas a la misma edad se presentaron en Bahía Magdalena y las más grandes en Ensenada (Fig. 7a). De igual manera, considerando esta información por stock los individuos más pequeños de la misma edad fueron los del stock cálido y los más grandes del stock templado (Fig. 7b).

#### Reclutamiento

El indicador del reclutamiento de cada cohorte en cada zona de pesca mostró que en Bahía Magdalena las generaciones de 1984, 1993-94 y la de 1999 fueron mas abundantes, mientras que en Ensenada fueron las generaciones 1991, 1995 y 1998-99 (Fig. 8a). El indicador del reclutamiento por stock mostró pulsos evidentes para el stock cálido ocurridos para las cohortes 1984, 1993 y 1999 y para el stock templado en las cohortes 1984-85, 1991, 1994 y 2000-01 (Fig. 8b).

El indicador del reclutamiento total (ambas zonas y stocks) de la sardina del Pacífico para la costa oeste de la PBC mostró que en los años posteriores a los altos reclutamientos ocurrieron incrementos importantes en las capturas de sardina, las cuales se mantuvieron altas entre tres a cuatro años después (Fig. 9).

## Estimación de abundancia

La biomasa del stock templado fue estimada considerando un valor de M=0.4, obtenido de la aplicación de la formula de Pauly, y de F=0.5 para el grupo de edad más viejo en las capturas (5+). La biomasa total estimada del stock (0+), alcanzó un máximo de  $3.33 \times 10^5$  t en 1996 y la captura máxima fue de  $1 \times 10^5$  t en 1997 (Fig. 10). Para el stock cálido no se hizo la estimación de abundancia porque su captura en Bahía Magdalena es relativamente escasa y su presencia ocurre en pocos meses del año inclusive durante años anómalamente cálidos (eventos El Niño) este stock no está representado en las capturas en esta zona. Además, consideramos que sus capturas en Bahía Magdalena no son representativas del stock cálido que tiene su núcleo de abundancia en la parte sur del Golfo de California (Quiñónez-Velázquez et al. 2007).

La biomasa potencialmente explotable del stock templado de la sardina del Pacífico, representada por los individuos de un año de edad y mayores (1+), alcanzó un máximo de más de  $2.85 \times 10^5$  t en 1996 (Fig. 10).



Fig. 2. Estructura anual de tallas y edades de la sardina del Pacífico descargada en Bahía Magdalena en el periodo de 1981 a 2002. La composición de edades es un grafico modificado de Félix-Uraga et al. (2004b)



Fig. 3. Estructura anual de tallas y edades de la sardina del Pacífico descargada en Ensenada en el periodo de 1989 a 2002



Fig. 4. Estructura de edades de la sardina del Pacífico en la costa oeste de la Península de Baja California, durante 1981 a 2002. A) por zona de pesca y B) por stock



Fig. 5. Distribución de frecuencias de tallas por grupo de edad de la sardina del Pacífico. A) Bahía Magdalena, BCS y B) Ensenada, BC



Fig. 6. Distribución de frecuencias de tallas por grupo de edad por stock de la sardina del Pacífico. Stock A) Cálido y B) Templado

	Por Zo	na	Por S	tock
	Bahía Magdalena	Ensenada	Cálido	Templado
$L_{\infty}$	202	217	194	213
k	0.43	0.42	0.57	0.44
t <sub>0</sub>	-2.25	-2.57	-1.97	-2.53
r <sup>2</sup>	0.4303	0.27	0.5400	0.3439
r	0.6559	0.52	0.7348	0.5864
n	13844	5835	4915	26656

220-A 200 180-160-Bahía Magdalena 140 Ensenada Longitud estándar (mm) 120 100-0 2 3 5 1 4 6 220-B 200 180 160 Cálido Templado 140 120 100 0 1 2 3 4 5 6 Edad (años)

Fig. 7. Curvas de crecimiento individual de la sardina del Pacífico en la costa oeste de la Península de Baja California. A) por zona de pesca y B) por stock

Tabla 2. Estimación de los parámetros de crecimiento de la sardina del Pacífico por zona de pesca y por stock en la costa oeste de la Península de Baja California, de 1981 a 2002



y B) por stock



Fig. 9. Variación anual del Indicador del reclutamiento y la captura de la sardina del Pacifico en la costa oeste en la península de Baja California



Fig. 10. Biomasa anual del stock templado. Biomasa total (0+); biomasa de los individuos de un año y mayores (1+); biomasa de los individuos de dos años y mayores (2+); biomasa de los individuos de tres años y mayores (3+) y captura del stock templado

# Importancia relativa de los stocks de sardina en las zonas de pesca

La proporción relativa que tuvo cada stock de sardina en las capturas de Bahía Magdalena, Isla Cedros y Ensenada indica que el stock cálido, por su distribución, solamente puede ser capturado en Bahía Magdalena (Fig. 11). Las sardinas del stock templado se capturaron en las tres zonas de pesca, Bahía Magdalena, Isla Cedros y Ensenada. En esta última zona de pesca se capturan sardinas provenientes del stock frío con su núcleo de abundancia en California (Félix-Uraga 2004a, 2005). Considerando todas las pesquerías de sardina en la costa oeste de la PBC, el stock templado es relativamente el más abundante, con el 82.9% de las descargas de sardina y el stock cálido representó el 17.1% (Fig. 11).

# DISCUSIÓN

Los grupos de edad de la sardina capturada en Bahía Magdalena y Ensenada en el período de 1981 a 2002, son similares a los reportados por Felin & Phillips (1948) al final del auge de la antigua pesquería de California a mediados del siglo pasado, cuando predominaban los peces de 1 y 2 años de edad. No obstante que la captura de sardina del Pacífico en la costa oeste de la PBC ha tenido un crecimiento sostenido de 3650 t en 1984 a más de 94400 t en 2002, lo que indica una intensa explotación pesquera creciente, consideramos que el recurso no esta sobreexplotado y que la predominancia de los grupos de edad 1 y 2 son reflejo de los altos reclutamientos de sardina del Pacífico en la PBC. Además, la mayoría de las sardinas capturadas en el periodo de 1981 a 2002, presentaron una talla mayor que la talla mínima legal de 150 mm (NOM-003-PESC-1993). Esto significa que en términos generales se ha estado cumpliendo con la única regulación oficial que se tiene para la captura de sardina en aquas mexicanas.

Al comparar los parámetros del modelo de crecimiento de Bertalanffy por zona de pesca con aquellos por stock, se evidencia que las sardinas del sur presentaron menores valores de  $L_{\infty}$  y mayores valores de k que las del norte. Además, los valores de los coeficientes de determinación y de correlación se incrementaron al hacer las estimaciones de los parámetros de crecimiento por stock. Eso posiblemente indique una tendencia natural de separación de grupos poblacionales, y/o también incorporaciones importantes de sardinas de tallas pequeñas (grupo 1) como consecuencia del reclutamiento (Quiñónez-Velázquez et al. 2006). Hedgecock et al. (1989) previamente habían encontraron que la población de la sardina del Pacífico mostró un clinal latitudinal en dirección norte-sur en la talla a la edad.

El índice de reclutamiento de la sardina del Pacífico por zonas y por stocks indica que las sardinas capturadas en la parte sur de su rango de distribución, parecen tener una estrecha relación con periodos climáticos posteriores a eventos de calentamiento El Niño Oscilación del Sur (ENOS). Esta afirmación es evidenciada con los datos de reclutamientos observados en 1984, 1993 y 1999 en la





Fig. 11. Importancia relativa de los stocks de sardina del Pacífico por pesquería (Bahía Magdalena, Isla Cedros y Ensenada) y en la costa oeste de la Península de Baja California, de 1981 a 2002

zona de Bahía Magdalena y particularmente del stock cálido, que ocurrieron un año después de los eventos ENOS de 1983-84, 1992-93 y 1998, condiciones que propiciaron un éxito reproductivo que originaron las clases anuales más abundantes (Murphy 1966, Huato-Soberanis & Lluch-Belda 1987, Félix-Uraga 1992, Félix-Uraga et al. 1996). Los reclutamientos de sardina del Pacífico detectados en la parte norte de su rango de distribución fueron mas abundantes que los detectados en el sur, quizás porque durante los periodos cálidos le permiten a la población expandir sus áreas de desove y de residencia hacia el norte (Lluch-Belda et al. 1991b).

Los resultados del presente estudio permiten suponer que el primer incremento detectado en la captura total de sardina del Pacífico durante el periodo de 1985 a 1989 está estrechamente relacionada con la clase anual de 1984 (Fig. 9), la cual se reclutó a la pesquería en 1985 y provocó un aumento de la captura que sostuvo en un nivel cercano a las 20000 t anuales hasta 1989. Las clases anuales de 1989, 1990 y 1991, determinaron inicialmente la captura obtenida en Bahía Magdalena en 1990 y 1991 y posteriormente, de 1991 a 1993, la captura de Ensenada. Este cambio en el volumen de captura tuvo una estrecha relación con el evento de El Niño de 1992, que al parecer provocó un desplazamiento del recurso desde la zona sureña de Bahía Magdalena hacia las zonas de Ensenada y el sur de California. Por esta razón la captura de sardina en Bahía Magdalena disminuyó durante 1992 y 1993. El comportamiento de la sardina del Pacífico de desplazarse hacia el norte en períodos cálidos ha sido ampliamente documentado a través del tiempo (Marr 1955, Wisner 1960, Radovich 1962, 1982, Lluch-Belda et al. 1989, 1991a, Félix-Uraga 1992).

La elevada abundancia de la clase anual de 1994 impacto favorablemente a la captura de sardina durante 1995 a 1999, cuando se descargaron, en promedio más de 70000 t anuales. Los máximos en la capturas de sardina de alrededor de 94000 t ocurridos en 2000 y 2002, estuvieron relacionadas con la clase anual de 1999 la cual ha sido la más abundante registrada en la costa oeste de la Península de Baja California y el sur de California, con aproximadamente 2300 millones de individuos.

Las estimaciones de biomasa del stock templado muestran para 1996 un máximo en biomasa potencialmente explotable de 300000 t. Esto aunado a la evolución de las capturas en la costa oeste de la PBC sugiere que la recuperación de esta pesquería ocurrió de sur a norte de su área de distribución. Al contrario de cómo ocurrió el colapso de la misma en los años 40's y 50's, que fue de norte a sur (Radovich 1982, Wolf 1992).

En cuanto a la importancia relativa de los stocks de la sardina del Pacífico en las pesquerías de la costa oeste de la PBC, el stock templado constituyó el 82.9% de las capturas en Bahía Magdalena en comparación con el stock cálido (17.1%). El contar con estimaciones de la proporción relativa de cada stock de este recurso, es de gran utilidad para lograr su sustentabilidad debido a que permite discriminar espacio-temporalmente el impacto de la actividad de pesca y en consecuencia a la población de manera independiente.

Los resultados generados en el presente trabajo pueden servir de base en potenciales acuerdos multinacionales para la explotación de la sardina del Pacífico. Esta es una de las intenciones de los foros trinacionales de sardina que se han venido realizando anualmente desde el año 2000, donde se da una colaboración científica internacional, entre Canadá, EUA y México, países que actualmente explotan este recurso.

*Agradecimientos.* Este estudio fue posible gracias a la colaboración y apoyo del Programa de Pelágicos Menores del CRIP-Sauzal, de las plantas procesadoras de sardina en la costa oeste del la Península de Baja California y del Instituto Politécnico Nacional. Agradecemos los comentarios al manuscrito de la Dra. Georgina Gluyas Millán y de dos revisores anónimos. Los autores son miembros de COFAA y EDI.

#### LITERATURA CITADA

- Barnes JT, Foreman TJ (1994) Recent evidence for the formation of annual growth increments in the otoliths of young Pacific sardines (*Sardinops sagax*). Calif Fish Game 80:29-35
- Clark FN (1947) Analysis of populations of the Pacific sardine on the basis of vertebral counts. Calif Div Fish Game Fish Bull 65:5-26
- Clark FN, Marr JC (1955) Population dynamics of the Pacific sardine. Calif Coop Oceanic Fish Invest Rep 1:11-48
- De La Cruz-Agüero J, García-Rodríguez FJ (2004) Morphometric stock structure of the Pacific sardine Sardinops sagax (Jenyns, 1842) off Baja California, Mexico. En: Elewa AM (ed) Morphometrics: Applications in biology and paleontology. Springer-Verlag, New York, p 115–124
- Felin FE (1954) Population heterogeneity in the Pacific pilchard. Fish Wildl Serv Fish Bull 54:201–225
- Felin FE, Phillips JB (1948) Age and length composition of the

sardine match off the Pacific coast of the United Status and Canada, 1941-42 through 1946-47. Div Fish Game Fish Bull 69:1-122

- Felin FE, Wolf RS, Daugherty AE Millar DJ (1958) Age and length composition of the Pacific coast of the United States and Mexico in 1955-56 and 1956-57. Dep Fish Game Fish Bull 106:1-72
- Félix-Uraga R (1986) Edad, crecimiento y estructura poblacional de Sardinops sagax caerulea en Bahía Magdalena, durante 1981 a 1984. Tesis de Maestría. Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas, La Paz, BCS., México
- Félix-Uraga R (1990) Crecimiento de Sardinops sagax caerulea en Bahía Magdalena, México. Invest Mar CICIMAR 5(1):27-31
- Félix-Uraga R (1992) Composición por edades de la sardina monterrey Sardinops caeruleus capturada en Bahía Magdalena, B.C.S., México, de 1981 a 1991. Invest Mar CICIMAR 7:9-13
- Félix-Uraga R, Ramírez-Rodríguez M (1989) Verificación en las determinaciones de edad de Sardinops sagax caerulea basadas en la lectura de otolitos. Invest Mar CICIMAR 4:59-64
- Félix-Uraga R, Alvarado-Castillo RM, Carmona-Piña R (1996) The sardine fishery along the western coast of Baja California, 1981 to 1994. Calif Coop Oceanic Fish Invest Rep 37:188-192
- Félix-Uraga R, Gómez-Muñoz VM, Quiñónez-Velázquez C, Melo-Barrera FN, García-Franco W (2004a) On the existence of Pacific sardine groups off the west coast of the Baja California Peninsula and southern California. Calif Coop Oceanic Fish Invest Rep 45:146-151
- Félix-Uraga R, Quiñónez-Velázquez C, García-Franco W, Melo-Barrera FN (2004b) Variación en la captura de la sardine del Pacífico Sardinops caeruleus (Girard, 1856) en la costa oeste de la Península de Baja California y su relación con el reclutamiento. En: Quiñonez-Velázquez C, Elorduy-Garay JF (eds) Ambiente y pesquería de pelágicos menores en el Noroeste de México. Instituto Politécnico Nacional, p 17-25
- Félix-Uraga R, Gómez-Muñoz VM, Quiñónez-Velázquez C, Melo-Barrera FN, Hill K, García-Franco W (2005) Pacific sardine stock discrimination in the west coast of Baja California and southern California, using morphometry of otoliths. Calif Coop Oceanic Fish Invest Rep 46:113-121
- Fitch JE (1951) Age composition of the southern California match of Pacific mackerel, 1939-40 through 1950-51. Dep Fish Game Fish Bull 83:1-73
- Gulland JA (1966) Manual of sampling methods for fisheries biology. FAO Fish Biol Tech Pap 26:1-75
- Hedgecock D, Hutchinson ES, Li G, Sly FL, Nelson K (1989) Genetic and morphometric variation in the Pacific sardine, Sardinops sagax caerulea: Comparisons and contrasts with historical data and with variability in the northern anchovy, Engraulis mordax. Fish Bull 87:653-671
- Holden MJ, Raitt DFS (1975) Métodos para investigar los recursos y su aplicación. Manual de ciencia pesquera. Parte 2. FAO, p 123
- Holt SJ (1959) A preliminary comparative study of the growth, maturity, and mortality of sardines. Proc World Sci Biol of sardines and related species. Subj Syn 4:1-5
- Huato-Soberanis L, Lluch-Belda D (1987) Mesoscale cycles in the series of environmental indices related to the sardine fishery in the Gulf of California. Calif Coop Oceanic Fish Invest Rep 28:128-134
- Jacobson LD, MacCall AD (1995) Stock-recruitment models for Pacific sardine *Sardinops sagax*. Can J Fish Aquat Sci 52:566-577
- Lluch-Belda D, Crawford RJM, Kawasaki T, MacCall AD, Parrish

RH, Schwartzlose RA, Smith PE (1989) Worldwide fluctuations of sardine and anchovy stocks: the regimen problem. S Afr J Mar Sci 8:195–205

- Lluch-Belda D, Hernández-Vázquez S, Schwartzlose RA (1991a) A hypothetical model for the fluctuation of the California sardine population (*Sardinops sagax caerulea*). En: Kawasaky T, Tanaka S, Toba Y, Taniguchi A (eds). Long-term variablity of pelagic fish populations and their environment. Pergamon Press, Oxford, p 293-300
- Lluch-Belda D, Lluch-Cota DB, Hernández-Vázquez S, Salinas-Zavala CA, Schwartzlose RA (1991b) Sardine and anchovy spawning as related to temperature and upwelling in the California current system. Calif Coop Oceanic Fish Invest Rep 32:105-111
- MacCall AD (1979) Population estimates for the waning years of the Pacific sardine fishery. Calif Coop Oceanic Fish Invest Rep 10:72-82
- Marr JC (1955) Sardine spawning surveys. Pan-Am Fish 10:14-15
- Murphy GI (1966) Population biology of the Pacific sardine Sardinops caerulea. Proc Calif Acad Sci 34:1-87
- Parrish RH, Serra R, Grant WS (1989) The monotypic sardines, Sardina and Sardinops: Their taxonomy, distribution, stock structure, and zoogeography. Can J Fish Aquat Sci 46:2019-2036
- Pella JJ, Milner GB (1987) Use of genetics marks in stock composition analysis. En: Ryman N, Utter F (eds).Population genetics and fishery management. Univ Washington Press, Seattle and London, p 247-275
- Pope JG (1972) An investigation of the accuracy of virtual population analysis using cohort analysis. ICNAF Res Bull 9:65-74
- Quiñónez-Velázquez C, Alvarado-Castillo RM, Félix-Uraga R (2002) Relación entre el crecimiento individual y la abundancia de la población de la sardina del Pacífico Sardinops caeruleus (Pisces: Clupeidae) (Girard 1856) en Isla de Cedros, Baja California, México. Biol Mar Oceanog Chile 37:1-8
- Quiñónez-Velázquez C, Melo-Barrera FN, Félix-Uraga R, Gluyas-Millán G (2006) La pesquería de sardina en Bahía Magdalena, B.C.S., durante 2005. Resúmenes, XIV Taller del Comité Técnico de Pelágicos Menores, 21-23 de junio del 2006, La Paz, BCS
- Quiñónez-Velázquez C, Melo-Barrera FN, Félix-Uraga R, Gluyas-Millán G (2007) La Pesquería de sardina en Bahía Magdalena, B.C.S., durante 2006. Resúmenes, XV Taller del Comité Técnico de Pelágicos Menores, 2-4 de mayo del 2007, La Paz, BCS
- Radovich J (1962) Effects of sardine spawning stock size and environment on year-class production. Calif Fish Game 48:123-140
- Radovich J (1982) The collapse of the California sardine fishery. What have we learned?. Calif Coop Oceanic Fish Invest Rep 23:56-77
- Sparre P, Venema SC (1995) Introduction to tropical fish stock assessment. Part 1. Manual. FAO Fish Tech Pap N $^{\rm o}$  306.1 Rome, p 376.
- Utter F (1991) Biochemical genetics and fishery management: an historical perspective. J Fish Biol 39:1-20
- Wisner RL (1960) Evidence of a northward movement of stocks of the Pacific sardine based on the number of vertebrae. Calif Coop Oceanic Fish Invest Rep 8:75-82
- Wolf RS (1961) Graphic presentation of Pacific sardine age composition data. US Fish Wildl Serv Spec Sci Rep Fish 384:1-34
- Wolf P (1992) Recovery of the Pacific sardine and the California sardine fishery. Calif Coop Oceanic Fish Invest Rep 33:76-86

Félix–Uraga R, Melo–Barrera FN, Quiñonez–Velázquez C (2007) Parámetros poblacionales de la sardina del Pacífico Sardinops sagax y su contribución a la pesquería de Bahía Magdalena: enfoque de stocks. En: Funes-Rodríguez R, Gómez-Gutiérrez J, Palomares-García R (eds) Estudios ecológicos en Bahía Magdalena. CICIMAR-IPN, La Paz, Baja California Sur, México, p 223-234

# Bahía Magdalena: zona de crianza de la macarela *Scomber japonicus*

# María Georgina Gluyas–Millán

Centro Regional de Investigación Pesquera La Paz, Instituto Nacional de La Pesca-SAGARPA. Carretera a Pichilingue Km 1 s/n, La Paz, 23020, Baja California Sur

RESUMEN: Se documentan las características de la estructura de tallas, edades y madurez gonádica de la macarela *Scomber japonicus* y su relación con la variabilidad mensual e interanual de su captura comercial en Bahía Magdalena. Con el objeto de probar la hipótesis de que la macarela utiliza el sistema lagunar como zona de crianza, se utilizó la información de su biología proveniente de monitoreos efectuados entre 1981 y 1989 y de registros de su captura comercial entre 1981 y 2005. La macarela es capturada en Bahía Magdalena con mayor disponibilidad entre mayo y septiembre. Los resultados indicaron que predominan los individuos <2 años de edad durante ocho meses (abril-octubre), con respecto de aquellos de 3 años que ocurren durante cuatro meses (diciembre-marzo). La presencia de macarelas pequeñas con evidencias de gónadas maduras, sugiere que las condiciones de la Bahía favorecen que alcancen la primera madurez a una edad más temprana que en otros sitios de pesca del Pacífico Mexicano. Estos resultados apoyan la hipótesis de que Bahía Magdalena es una zona de crianza que es discutida a la luz de la información disponible de la estructura de tallas, edades y características reproductivas.

# PALABRAS CLAVE: Scomber japonicus · Crianza · Reproducción · Bahía Magdalena

ABSTRACT: The size and age population structure and gonad maturity of the Pacific mackerel *Scomber japonicus* and its relationship with the monthly and annual variability of the commercial fishery were documented. In order to test the hypothesis that Bahía Magdalena inlet waters provides protection for individuals as nursery area I used information from biological samples collected during 1981 to 1989 and commercial catches from data time series recorder during 1981 to 2005. Pacific mackerel is harvest every year, but their largest catches usually occur between May to September. Results showed that individuals <2 years prevailed during eight months of the year (April-October), and those of 3 years occurs during four months (December-March). Observations on gonad maturity stage evidence of very small individuals in ripe phase which has no be observed in any other fishing areas from the Mexican Pacific waters. These results support the hypothesis that Bahía Magdalena is used as nursery area based on the available information of sizes structure, ages and reproductive characteristics.

KEY WORDS: Scomber japonicus · Nursery area · Reproduction · Bahía Magdalena

# **INTRODUCCIÓN**

Las aguas interiores como bahías, esteros, lagunas de los trópicos y subtrópicos, son altamente productivas. Estos ecosistemas funcionan como hábitat temporal y/o permanente de crianza, alimentación, refugio, reproducción y protección de un gran número de especies de moluscos, crustáceos, peces y aves. Bahía Magdalena no es la excepción, mantiene una elevada producción primaria y secundaria (Gárate-Lizárraga 1992, Palomares-García & Gómez-Gutiérrez 1996, Gómez Gutiérrez et al. 1999), a niveles tróficos finales que mantienen la producción de importantes volúmenes de recursos pesqueros bentónicos y pelágicos (Félix-Uraga et al. 1996, Félix-Uraga et al. 2005, Funes-Rodríguez et al. 1998, Funes-Rodríguez et al. 2001, DOF 2004, 2006).

Su alta productividad es promovida por un vigoroso intercambio de agua con la plataforma adyacente, influenciada temporalmente por la corriente de California, la contracorriente de California y por surgencias, procesos responsables de la sucesión temporal de comunidades del zooplancton dentro de Bahía Magdalena (Avendaño-Ibarra et al. 2004, Gómez-Gutiérrez et al. 2001, Zaitsev et al. 2003). Esta bahía es uno de los cuatro sitios de pesca (Ensenada, Bahía Vizcaíno y Golfo de California) de pelágicos menores del Pacífico Mexicano, sin embargo, actualmente en Bahía Vizcaíno no se pesca. Una de las especies que componen los pelágicos menores es la macarela *Scomber japonicus*, la cual se distribuye en el Pacífico nororiental, desde Alaska a Bahía Banderas y Golfo de California (Kramer 1969, Castro-Hernández & Ortega-Santana 2000). Otra especie es la sardina monterrey *Sardinops sagax*, la más importante en términos de captura en todos los sitios de pesca de pelágicos menores, representa más del 75% (Félix-Uraga et al. 2005), mientras que la macarela *Scomber japonicus* usualmente constituye menos de 5% del total (Gluyas-Millán 2004).

Las investigaciones sobre este recurso en aguas Mexicanas se han dirigido a documentar aspectos de su historia de vida en cada zona de pesca (Gluyas-Millán 1989, Gluyas-Millán & Félix-Uraga 1990, Arcos-Huitrón & Torres-Villegas 1990, Martínez-Aguilar & de Anda-Montañéz 1990, Green-Ruíz & Aguirre-Medina 1992, Gluyas-Millán & Gómez-Muñoz 1993, Esqueda-Escárcega 1995, Gluyas-Millán 2004). La integración de esas investigaciones permitió apoyar una hipótesis sobre la distinción de al menos dos unidades poblacionales de S. japonicus, una en la costa occidental de la península de Baja California y otra en el Golfo de California, con una zona de interposición en Bahía Magdalena (Gluyas-Millán & Quiñónez-Velázquez 1996). El presente capítulo tiene por objeto mostrar evidencias que apoyen la hipótesis de que la macarela S. japonicus utiliza a Bahía Magdalena como zona de crianza, apoyados con información histórica mensual y anual de la captura comercial, estructura de tallas, edades y características reproductivas.

# **MATERIALES Y MÉTODOS**

El registro de la captura comercial de *Scomber japonicus* fue con una periodicidad mensual de 1981 a 2005. La información biológica se obtuvo de 1981 a 1989; ambos periodos de muestreos fueron realizados por el Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas. La información biológica proviene de dos tipos de muestras: una masiva de aproximadamente 4 kg para medir la longitud estándar (LE mm) y posteriormente una submuestra de hasta 4 kg para medir: LE, peso total (g), peso eviscerado (g), sexo, estadio de madurez y colecta de los otolitos (*saggita*). En algunos meses y años el tamaño de la muestra masiva fue igual a la muestra biológica, debido a una baja disponibilidad del recurso.

Los otolitos se prepararon para observar e identificar marcas de crecimiento para determinar edad, para ello se utilizó un microscopio estereoscopio con luz reflejada. El reconocimiento de marcas fue indicado por una banda opaca y una hialina, las cuales reflejaron una deposición variable de carbonato de calcio. Se determinó que la periodicidad de formación de esas bandas fue anual para la macarela del sur de California, Bahía Vizcaíno y el Golfo de California (Fitch 1951, Gluyas-Millán & Félix-Uraga 1990, Gluyas-Millán & Quiñónez-Velázquez 1996). Con base en esa información se asumió una periodicidad similar para la macarela de Bahía Magdalena. La distribución de frecuencias de edades se construyó con la información del promedio mensual de todos los años\_(1981-1989), con el fin de conocer si la predominancia de individuos de 1 y 2 años de edad provenía de algún mes y/o año en particular.

Los estadios de madurez se identificaron con una escala morfocromática (Knaggs & Parrish 1973). Se incluyeron únicamente las hembras en estadio 3 de madurez (i. e. cuando fueron expulsados con facilidad huevos grandes y transparentes) para definir tanto el ciclo de reproducción, como la talla y la edad al 50% de madurez  $(L_{50\%} \text{ y } E_{50\%})$ .

# RESULTADOS

La producción anual de macarela de Bahía Magdalena entre 1982 y 2005 fue altamente variable (Fig. 1), con dos máximos, uno de 4473 t en 1997 y otro de 3454 t en 2002. La captura mínima (<1 tonelada) se registró en 1983, 1990, 1993, 1995, 2003 y 2004. La aportación anual de macarela al volumen total de peces pelágicos menores de Bahía Magdalena es de 3% en promedio. La mayor disponibilidad de macarelas se registró de julio a septiembre según la tendencia del promedio mensual de la captura comercial (Fig. 2). En un ciclo anual, su aparente disminución en junio podría relacionarse con tiempos desfavorables para la navegación, originados por tormentas en el Pacífico Tropical, situación que reduce el número de viajes de pesca.



Fig. 1. Captura anual (t) de Scomber japonicus en Bahía Magdalena (1981-2005)



Fig. 2. Promedio mensual de la captura de *Scomber japonicus* en Bahía Magdalena

De un total de 5298 individuos medidos, el intervalo de tallas fue de 105 a 303 mm (LE), siendo las tallas más abundantes entre 203 y 238 mm (Fig. 3). El intervalo de edades fue de individuos entre 0 años (<12 meses) y 7 años, de los cuales, más del 70% fueron individuos de 1 a 2 años edad (Fig. 4). Para conocer de donde provenían esos individuos, se construyó una distribución promedio mensual de frecuencia de edades (Fig. 5), donde se observa que los individuos >3 años se presentaron de diciembre a marzo, mientras que aquellos 0 a 2 lo hicieron por un periodo más prolongado, de abril a octubre (Fig. 5).

Un total de 383 hembras con gónadas maduras, a punto de desovar, se presentaron de febrero a mayo y en septiembre (Fig. 6). El intervalo de talla y edad de esas hembras fue de 173 a 233 mm LE y de 1 a 7 años, con una  $L_{50\%}$  de 213.7 mm LE y una  $E_{50\%}$  de 1.7 años.

# DISCUSIÓN

Los registros de captura indicaron una menor disponibilidad de macarela en relación a la sardina Monterrey, tal y como se ha encontrado en Ensenada, Bahía Vizcaíno y Golfo de California (Gluyas Millán 2004). No obstante, de su relativamente baja disponibilidad y magnitud variable de captura en Bahía Magdalena, su presencia es consistente desde los últimos veinticuatro años, lo cual sugiere que no es una especie esporádica, sino que habita de forma consistente el complejo lagunar.

La magnitud de su captura ha mostrado una disponibilidad y/o reclutamiento variable, con incrementos notables (3000-4500 t) durante El Niño 1997-98 y en 2002. Esos incrementos coinciden con un aumento en la abundancia de huevos y larvas de macarela durante años El Niño (Funes-Rodríguez et al. 2001,



Fig. 3. Distribución de frecuencia de tallas de Scomber japonicus en Bahía Magdalena



Fig. 4. Distribución de frecuencia de edades de *Scomber japonicus* en Bahía Magdalena

Palomares-García et al. 2003), y por el contrario en periodos fríos sus primeros estadios son escasos (Funes-Rodríguez et al. 1998). Esto podría sugerir que durante eventos El Niño ocurren condiciones ambientales favorables para un exitoso reclutamiento de *S. japonicus*, y/o mayor disponibilidad de la especie debido a su



Fig. 5. Promedio mensual de distribución de frecuencia de edades de *Scomber japonicus* en Bahía Magdalena



Fig. 6 Frecuencia mensual de estadios de madurez de *Scomber japonicus*. El estadio que indica gónadas maduras es mostrado por la fracción de la barra oscura; en proceso de maduración, color gris; e inmaduras, blanco

desplazamiento desde una zona distinta a Bahía Magdalena.

A pesar de una menor disponibilidad de individuos de 3 a 7 años de noviembre a febrero en la bahía, es importante señalar que éstos podrían ser los responsables de la presencia de huevos y larvas de *S. japonicus* registradas por Funes-Rodríguez et al. (1998; 2004) y Palomares-García et al. (2003) en esta época del año. Lo cual es consistente con el periodo de reproducción (febrero-mayo) previamente definido con análisis histológicos de gónadas (Arcos-Huitrón & Torres-Villegas 1990). Sin descartar que la reproducción también ocurra fuera de la bahía (Bautista-Romero 1997, Funes-Rodríguez et al. 2002) y de un posible mecanismo de transporte de individuos larvales al interior de la bahía, a través del vigoroso intercambio de agua con la plataforma continental (Gómez-Gutiérrez et al. 2006).

Con base en lo anterior, se deduce que Bahía Magdalena es un sitio de pesca de S. japonicus donde predominan, hasta por siete meses, individuos de 0 a 2 años de edad, si se compara con la estructura de edad que habita en Ensenada, Bahía Vizcaíno y Golfo de California, donde usualmente predominan individuos >3 años de edad (Gluyas-Millán & Gómez Muñoz 1993; Gluyas-Millán & Quiñónez-Velázquez 1996). Estos argumentos son la principal evidencia para sustentar que Bahía Magdalena es una zona de crianza de macarelas jóvenes, ya que individuos entre 0 y 2 años aún no alcanzan la mayor tasa de crecimiento individual, que ocurre entre 3 y 5 años (Gluyas-Millán 2004). Además, la talla y edad al 50% de madurez resultó ser más pequeña en comparación a otras localidades del Pacífico Mexicano (Gluyas-Millán & Quiñónez-Velázquez 1996). Sin descartar la posibilidad de que el origen de la macarela que entra a la bahía provenga del Golfo de California, ya que en invierno y primavera, tanto la sardina como la macarela del Golfo se desplazan hacia el sur (Sokolov & Wong-Ríos 1972, Sokolov 1974, Gluyas-Millán & Quiñónez-Velázquez 1997), como ha sido observado con la sardina del Pacífico (Félix-Uraga et al. 2005).

La maduración de gónadas en individuos pequeños y jóvenes que se observa en Bahía Magdalena, se debe posiblemente a condiciones favorables de alimentación en la bahía. Esta etapa de vida indica que su mayor tasa de crecimiento individual aun no se alcanza, entonces la energía será dirigida principalmente al crecimiento individual y estará relacionada directamente con la disponibilidad y calidad de alimento, que en teoría promoverá variaciones en la supervivencia. Después, de alcanzar la edad de primera madurez, la energía se dirigirá a procesos reproductivos, desarrollo de gónadas, acumulación de grasa y en menor proporción al crecimiento (Nikolsky 1963). Esta última etapa se observa a finales de invierno y principios de primavera cuando ocurren los individuos >3 años.

*Agradecimientos.* A los editores del libro y revisores por sus atinadas observaciones, correcciones y sugerencias que permitieron mejorar el manuscrito. La autora es apoyada por el SNI.

### LITERATURA CITADA

- Arcos-Huitrón E, Torres-Villegas R (1990) Ciclo reproductor de la macarela del Pacífico *Scomber japonicus* Houttuyn (Pisces: Scombridae) en Bahía Magdalena, BCS, México. Invest Mar CICIMAR 5:37-46
- Avendaño-Ibarra R, Funes-Rodríguez R, Hinojosa-Medina A, González-Armas R, Aceves-Medina G (2004) Seasonal abundance of fish larvae in a subtropical lagoon in the west coast of the Baja California Peninsula. Est Coast Shelf Sci 61:125-135
- Bautista-Romero JJ (1997) Distribución del desove de *Scomber japonicus* y *Trachurus symmetricus* en la corriente de California; patrones generales y su relación con la temperatura y surgencias. Tesis de Licenciatura. Universidad Autónoma de Baja California Sur. La Paz, BCS., México
- Castro-Hernández JJ, Ortega-Santana AT. (2000) Synopsis of biological data on the chub mackerel (*Scomber japonicus* Houttuyn 1782). FAO Fisheries Synopsis No. 157. Rome. FAO
- Diario Oficial de la Federación (2004) Diario Oficial de la Federación 15 de marzo 2004. Anexo de la Carta Nacional Pesquera. México
- Diario Oficial de la Federación (2006) Diario Oficial de la Federación 25 de agosto 2006. Anexo de la Carta Nacional Pesquera. México
- Esqueda-Escárcega GM (1995) Spatial and temporal distribution of *Scomber japonicus* larvae in the Sea of Cortez (1984-1988). En: Castro CJJ, Lorenzo JM (eds) International symposium on middle-size pelagic fish. Sci Mar 59:391-397
- Félix-Uraga R, Alvarado-Castillo RM, Carmona R (1996) The sardine fishery along the western coast of Baja California, 1981 to 1994. Calif Coop Ocean Fish Invest Rep 37:188-192
- Félix-Uraga R, Gómez-Muñoz V, Quiñónez-Velázquez C, Melo-Barrera FN, Hill KT, García-Franco W (2005) Pacific sardine (Sardinops sagax) stock discrimination off the west coast of Baja California and Southern California using otolith morphometry. Calif Coop Ocean Fish Invest Rep 46:113-121
- Fitch JE (1951) Age composition of Southern California catch of Pacific mackerel 1939-40 through 1950-51. State of California, Fish Bull 83:1-73
- Funes-Rodríguez R, González-Armas R, Avendaño-Ibarra R (1998) Distribución y abundancia de larvas de peces en el sistema lagunar de Bahía Magdalena-Almejas, Baja California Sur, México. Hidrobiología 8:55-66
- Funes-Rodríguez R, Hinojosa-Medina A, Avendaño-Ibarra R, Hernández-Rivas ME, Saldierna-Martínez R, Watson W (2001) Spawning of small pelagic fish in Magdalena bay, Baja California Sur, México, at the beginning of the 1997-1998 El Niño event. Estuar Coast Shelf Sci 53:653-664
- Funes-Rodríguez R, Flores-Coto C, Esquivel-Herrera A, Fernández-Alamo MA, García-Gásca A (2002) Larval fish community structure along the west coast of Baja California during and after El Niño event (1982-983). Bull Mar Sci 70:41-54
- Funes-Rodríguez R, Hinojosa-Medina A, Aceves-Medina G, Saldierna-Martínez R, Hernández-Rivas M (2004) Diagnosis taxonómica y distribución de la abundancia de los primeros estadios de vida de los peces pelágicos menores. En: Quiñónez-Velázquez C, Elorduy-Garay JF (eds). Ambiente y pesquería de pelágicos menores en el noroeste de México. CICIMAR-IPN, La Paz, BCS, México, p 27-56
- Gárate-Lizárraga I (1992). Variación espacio temporal de la abundancia fitoplanctónica y de la estructura de las asociaciones microfitoplanctónicas en el sistema lagunar Magdalena-Almejas durante 1984-1986. Tesis de Maestría, Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas, Instituto Politécnico Nacional, La Paz, B.C.S. México

- Gluyas-Millán MG (1989) Época de reproducción, distribución de tallas y relación peso-longitud de la macarela del litoral de Baja California. Invest Mar CICIMAR 4:65-72
- Gluyas-Millán MG (2004) Biología y dinámica poblacional de la macarela Scomber japonicus del Golfo de California. Tesis de Doctorado. Universidad Nacional Autónoma de México, México, DF
- Gluyas-Millán MG, Félix-Uraga R (1990) Periodicidad de las marcas de crecimiento en los otolitos de la macarela Scomber japonicus (Houttuyn 1782) en Bahía Vizcaíno. Invest Mar CICIMAR 5:33-36
- Gluyas-Millán MG, Gómez-Muñoz V (1993). Composición por tallas y edades de la macarela Scomber japonicus de Bahía Vizcaíno. Invest Mar CICIMAR 8:33-38
- Gluyas-Millán MG, Quiñónez-Velázquez C (1996) Evidencias de distintos grupos poblacionales de macarela Scomber japonicus. Cienc Mar 22:377-395
- Gluyas-Millán, MG, Quiñónez-Velázquez C (1997) Age, growth and reproduction of Pacific mackerel *Scomber japonicus* in the Gulf of California. Bull Mar Sci 61:837-847
- Gómez-Gutiérrez J, Palomares-García R, De Silva-Dávila R, Carballido-Carranza MA, Martínez-López A (1999) Copepod daily egg production and growth rates in Bahía Magdalena, México. J Plankton Res 21: 2227-2244
- Gómez-Gutiérrez J, Palomares-García R, Hernández-Trujillo S, Carballido-Carranza A (2001) Community structure of zooplankton in the main entrance of Bahía Magdalena, México during 1996. Rev Biol Trop 49:454-558
- Gómez-Gutiérrez J, Robinson CJ (2006) Tidal current transport of epibenthic swarms of the euphausiid *Nyctiphanes simplex* in a shallow, sub-tropical bay on Baja California peninsula, México. Mar Ecol Prog Ser 320:215-231
- Green-Ruiz Y, Aguirre-Medina G (1992) Estimation of the reproductive biomass of the Pacific mackerel (Scomber

*japonicus* Houttuyn 1782) in the Gulf of California (January-February). Cienc Mar 18:135-149

- Knaggs EH, Parrish RG (1973) Maturation and growth of Pacific mackerel, *Scomber japonicus* (Houttuyn). Calif Fish Game 59:114-120
- Kramer D (1969) Synopsis of the biological data on the Pacific mackerel Scomber japonicus Houtuyn (Northeast Pacific). FAO Fish. Synop 40
- Martínez-Aguilar S, De Anda Montañéz JA (1990) Estimación de la biomasa reproductora de *Scomber japonicus* Houttuyn, en el Golfo de California (marzo 1981). México, INP. Cienc Pesq 7:17-34
- Nikolsky G V (1963) The ecology of fishes. Academic Press. London & New York
- Palomares-García R, Gómez-Gutiérrez J (1996) Copepod community structure at Bahía Magdalena, Mexico during El Niño 1983-1984. Est Coast Shelf Sci 43:583-595
- Palomares-García R, Martínez-López A, De Silva-Dávila R, Funes-Rodríguez R, Carballido-Carranza MA, Avendaño-Ibarra R, Hinojosa-Medina A, López-Ibarra GA (2003) Biological effects of El Niño 1997-98 on a shallow subtropical ecosystem: Bahía Magdalena, México. Geofís Int 42:455-466
- Sokolov V (1974). Investigaciones biológico pesqueras de los peces pelágicos del Golfo de California. Calif Coop Ocean Fish Invest Rep 17:92-96
- Sokolov V, Wong Ríos M (1972) Informe científico de las investigaciones sobre peces pelágicos del Golfo de California, (sardina, crinuda, y anchoveta) en 1970. Inf Cient 1, México-PNUD-FAO
- Zaytsev O, Cervantes-Duarte R, Sánchez-Montante O, Gallegos-García A (2003) Coastal upwelling activity on the Pacific shelf of the Baja California Peninsula. J Oceanogr 59:489-502

Gluyas-Millán MG (2007) Bahía Magdalena: zona de crianza de la macarela *Scomber japonicus*. En: Funes-Rodríguez R, Gómez-Gutiérrez J, Palomares-García R (eds) Estudios ecológicos en Bahía Magdalena. CICIMAR-IPN, La Paz, Baja California Sur, México, p 235-239

# Peces demersales de Bahía Magdalena

Francisco Javier–Gutiérrez-Sánchez<sup>1</sup><sup>•</sup>, Felipe Galván–Magaña<sup>1</sup>, Leonardo Andrés Abitia–Cárdenas<sup>1</sup>, Jesús Rodríguez–Romero<sup>2</sup>

 <sup>1</sup> Departamento de Pesquerías y Biología Marina. Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas, Instituto Politécnico Nacional, Av. IPN s/n. Col Playa Palo de Sta. Rita, AP. 592, La Paz, 23096, Baja California Sur
<sup>2</sup> Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S.C., Mar Bermejo 195, Col. Playa Palo de Santa Rita. AP. 128, La Paz, 23090, Baja California Sur

RESUMEN: Se presenta la distribución y abundancia de peces demersales en Bahía Magdalena. Los resultados fueron obtenidos a partir de capturas realizadas entre julio de 1988 y junio de 1989. Se capturaron un total de 6510 organismos, agrupados en 32 familias 55 géneros y 75 especies. Esto representa el 24% de las 313 especies registradas para este complejo lagunar. Las especies más representativas en términos de abundancia fueron; el lenguado *Etropus crossotus*, la cabrilla *Paralabrax maculatofasciatus* y la mojarra *Eucinostomus dowii*, con una representatividad del 60% de la captura. En términos de biomasa, las especies mejor representadas fueron *P. maculatofasciatus*, el botete *Sphoeroides annulatus* y las rayas *Urobatis halleri* y *U. maculatus* con 48% de la biomasa total capturada. Durante el período frío (invierno-primavera) la estructura de la comunidad en el área de las bocas estuvo representada por especies de afinidad templado-tropical, mientras que hacia las áreas más protegidas se registraron con mayor frecuencia las especies de afinidad tropical. Esto provocó que los valores más altos en los índices ecológicos se registraran en áreas protegidas durante la época fría, especialmente durante primavera.

PALABRAS CLAVE: Peces demersales · Distribución · Laguna costera · Ecología · Bahía Magdalena

ABSTRACT: Abundance and distribution of demersal fishes in Magdalena bay were analyzed. The fishes were caught between July 1988 to June 1989. A total of 6510 fishes from 32 families, 55 genera and 75 species were identified. The most abundant species were the fringed flounder *Etropus crossotus*, the spotted sand bass *Paralabrax maculatofasciatus* and dow's mojarra *Eucinostomus dowii*, which represented about 60% of fishes caught. The species: *P. maculatofasciatus*, the bullseye puffer *Sphoeroides annulatus*, the haller's round ray *Urobatis halleri* and spotted round ray *U. maculatus* were the most relevant species in terms of biomass with about 48% of total biomass caught. During the cold season (winter-spring), the fish structure in the entrances to the bay were predominantly of temperate-tropical affinity; whereas in the inner protected areas a higher tropical species were found. The higher values of ecological indexes were recorded in protected area (channel and mangrove areas) during the cold season, mostly in spring.

KEY WORDS: Demersal fish · Distribution · Coastal lagoon · Ecology · Bahía Magdalena

# INTRODUCCIÓN

Los peces son un componente biótico crucial en los ecosistemas marinos, ya que por su movilidad y sus relaciones tróficas contribuyen en gran medida de los flujos de energía y de la estructura general del ecosistema marino (Yañez-Arancibia & Sanchez-Gil 1988). Las áreas protegidas como bahías, manglares, ensenadas y otras zonas costeras sirven de hábitat para numerosas especies de peces debido a que mantienen condiciones favorables para la reproducción, crianza, alimentación, crecimiento y protección contra depredadores (Mann 2000). Dentro de estos sistemas los peces no se distribuyen en forma uniforme, sino que de acuerdo a su afinidad zoogeográfica y características biológicas y fisiológicas propias, se pueden encontrar en zonas más expuestas o protegidas de la influencia oceánica. En el caso particular de Bahía

\*Correo electrónico: fcojavier3@yahoo.com

Magdalena se tiene el registro de 313 especies de peces que incluyen especies demersales y pelágicas (Galván-Magaña et al. 2002, Chávez-Rosales 2006).

Los peces demersales, a diferencia de los peces pelágicos que habitan principalmente en un ambiente tridimensional en la columna de agua, viven en o cerca del fondo de las zonas litoral, eulitoral y plataforma continental, llegando hasta profundidades de aproximadamente 500 metros. Estos peces, en general, presentan poco movimiento y se mantienen en contacto con el fondo, pero pueden efectuar movimientos migratorios según sus necesidades alimenticias o su ciclo de vida. Ellos representan un enlace en el acoplamiento béntico-pelágico de el sistema lagunar relativamente poco estudiado. En el presente estudio se presenta un análisis de la composición, diversidad y abundancia de la ictiofauna demersal en Bahía Magdalena.

# ANTECEDENTES

Existen relativamente pocos antecedentes relacionados con el estudio de la fauna demersal de Bahía Magdalena. Entre los trabajos pioneros se destaca el estudio de Mathews (1975), quien realizó una primera evaluación de los recursos pesqueros en la zona de Bahía Magdalena y su valor económico, estimando una densidad promedio de captura de escama de 77.5 Kg ha-1 para Bahía Almejas y de 136.3 Kg ha<sup>-1</sup> para Bahía Magdalena. Rodríguez-Romero et al. (1992), publicaron el primer caso de ambicoloración parcial del lenguado Pleuronichthys ritteri en este complejo lagunar. Torres-Orozco & Castro-Aguirre (1992) registraron 14 especies como nuevos registros de captura para la zona de Bahía Magdalena. De la Cruz et al. (1994) enlistan las especies recolectadas entre 1985 y 1990, registrando un total de 161 especies pertenecientes a 120 géneros y 61 familias. Villavicencio-Garayzar & Abitia-Cárdenas (1994), registraron 14 especies de elasmobranquios no registrados previamente en esta zona, por lo que el número de especies se incrementó a 175. Galván-Magaña et al. (2000), registró 302 especies y Chávez-Rosales (2006), reportó 11 nuevos registros de especies de peces en la zona de manglar al norte de Bahía Magdalena, por lo que hasta ahora, el listado sistemático comprende un total de 313 especies de peces en el complejo lagunar de Bahía Magdalena.

# MATERIAL Y MÉTODOS

La selección de las localidades de muestreo se realizó para cubrir la mayor parte del complejo lagunar (Fig. 1). Se establecieron 18 localidades de muestreo que fueron cubiertas mediante arrastres de fondo con red tipo chango camaronero, utilizando una embarcación de 8 m de eslora equipada con 2 motores fuera de borda de 65 HP cada uno. El periodo de muestreo fue de julio 1988 a junio 1989 con una periodicidad mensual. La red tenía una boca de arrastre efectivo de 4.5 m de ancho y 2.2 m de alto, con luz de malla de 3cm y puertas metálicas de 95 ' 50 cm. Los arrastres fueron de 15 minutos de duración, a una velocidad de ~3.6 km h<sup>-1</sup> (2 nudos), largando cabo en una relación de 3 veces la profundidad de arrastre.

La temperatura superficial se registró con un termómetro de cubeta con una precisión de 0.1° C. Para medir la profundidad se utilizó una "sondaleza" (Cabo de 30 m de largo con una plomada de 4 kg). La salinidad se obtuvo empleando el método de Knudsen con muestras de agua de 20 ml. Para la determinación del oxígeno disuelto se tomaron muestras con botellas DBO (Demanda Biológica de Oxígeno) las cuales fueron transportadas al laboratorio de Oceanografía Química de CICIMAR-IPN, en donde se efectuó la determinación mediante la concentración de oxígeno disuelto mediante el método de Winkler. La transparencia se midió con un disco de Sechii.

Los peces recolectados se fijaron con formaldehído al 10% y se trasladaron para su procesamiento al Laboratorio de Ecología de peces del CICIMAR-IPN. Para obtener información tanto de las dimensiones como proporciones de los ejemplares y facilitar la identificación de la especies, las biometrías incluyeron: longitud patrón, longitud total, longitud furcal, longitud cefálica, altura del cuerpo, amplitud del disco (batoideos) y peso total. Para la identificación de especies del género *Sphoeroides* se utilizó la clave de identificación de Walker & Bussing (1996). Para el resto de los peces capturados se identificaron utilizando los trabajos de Jordan & Evermann (1896-1900), Meek & Hildebrand (1923, 1928) y Miller & Lea (1972), Allen & Robertson (1994) y Fischer et al. (1995). Las especies capturadas fueron incorporadas a la colección ictiológica de CICIMAR-I.P.N.

Para definir el orden de importancia de las especies capturadas se utilizó el índice de valor biológico de Sanders (IVB). Este índice expresa la representatividad y permanencia de las especies en una zona, durante un número de campañas definido. Para su obtención se utilizó el criterio de Loya & Escofet (1990), los cuales consideran que se debe tomar el número de especies que acumulen el 95% del total en la campaña en que la cantidad de especies sea máxima. Su expresión algebraica es:



Fig. 1. Localización del área de estudio y estaciones de muestreo. (1) Lopez Mateos, (2) La Florida, (3) Curva del Diablo, (4) La Libertad, (5) San Carlos Viejo, (6) Punta Verde (Zona de Canales en gris, estación 1 a la 6). (7) San Buto, (8) El Chisguete, (9) La Bocana, (10) Médano Amarillo, (11) Puerto Alcatraz, (12) Las Palmitas (Bahía Magdalena en blanco, estación 7 a la 12), (13) Puerto Cortez, (14) Estero Salinas, (15) Laguna Palmer, (16) La Poza, (17) Canal de Rehúsa, (18) Puerto Chale (Bahía Almejas en gris, estación 13 a la 18)

$$IVB = \sum_{i=1}^{n} puij$$

Donde IVB = índice de valor biológico de la especie, i= Especie, j = campaña de muestreo y puij = Puntaje de la especie *i* en la campaña *j*.

Para poder observar la complejidad relativa de la estructura de la comunidad de peces demersales en relación a su abundancia específica de los peces capturados por estación de arrastre se utilizó el índice de diversidad de Shannon & Wiener (Margalef 1974):

$$H = -\sum_{i=1}^{J} (pi) \times (\log_2 pi)$$

Donde= H Diversidad de la muestra en bits o contenido de la información, pi = S/N (S, = Número de individuos de la especie *i*), N = Total de individuos, j = Total de especies.

Para estimar la abundancia y la distribución de las especies se calculó el área de barrido:

 $\frac{1}{4}$  hora de arrastre ' 2 nudos = 926 m

4.5 m de abertura de boca ' 926 m = 0.47 Ha

La captura total por estación de arrastre para cada especie (abundancia o biomasa) se dividió entre esta cantidad para obtener la densidad de organismos o biomasa expresada en gramos por hectárea en la captura. Los resultados por muestreo se presentan en mapas de distribución, para obtener una visión general de la estructura de las poblaciones presentes en el complejo lagunar (Gauch 1992). Posteriormente se seleccionaron las 6 especies con mayor valor del IVB, consideradas como las especies más representativas de la comunidad (Gutiérrez-Sánchez 1997) y se elaboraron mapas de distribución anual. Para el análisis de la estructura de la comunidad, se utilizó un análisis de agrupamiento con los datos estandarizados de abundancia de las 20 especies con mayor valor de IVB mediante el siguiente algoritmo:  $Sd_i = X_i - \mu/\delta$  para poder realizar la comparación entre especies independientemente de la densidad de captura de cada una de ellas y se agruparon mediante el método de promedio ponderado y distancia euclidiana (Ludwing & Reynolds 1988). El análisis estadístico se realizó con la matriz ordenada en forma C por columnas para agrupar localidades y en forma R para agrupar especies.

# RESULTADOS

Con la finalidad de obtener una caracterización de la estructura de la población de peces demersales entre cada una de las cuatro temporadas los resultados obtenidos se compararon mensualmente (Tabla 1). La temperatura superficial promedio fue de 21° C, siendo la máxima de 28° C en el mes de agosto, y la mínima de 15° C en los meses de febrero y abril. La temperatura cerca del fondo promedio fue de 20.7° C. La mayor registrada en agosto fue de  $28^{\circ}$  C y la menor en febrero de  $14^{\circ}$  C.

En general, la diferencia entre la temperatura superficial y de fondo no fue mayor a 0.8° C en la Zona de Canales y Bahía Almejas. Sin embargo en la cuenca de Bahía Magdalena esta diferencia fue mayor a 2° C en los meses cálidos y lo mismo ocurrió para el área de cercana a la boca principal de Bahía Magdalena, (Vgr. estación 9), donde se presentaron las temperaturas más bajas, mientras que las temperaturas más elevadas se presentaron en la Zona de Canales durante los meses cálidos de verano.

La temperatura promedio se muestra en la figura 2A, los valores más altos se observan en los meses de verano, y los más bajos en los meses de invierno. No obstante, la distribución espacial de la temperatura promedio, mostró un gradiente donde los valores más bajos fueron los de las localidades situadas en las inmediaciones de la boca de Bahía Magdalena y López Mateos, y los más altos en zonas someras y protegidas, principalmente en la Zona de Canales y Bahía Almejas.

El valor promedio anual de salinidad en la zona fue de 35.4. Los valores promedio mensuales de la salinidad tuvieron relativamente reducida variación (< 1). Los valores más elevados se presentaron en la Zona de Canales, mientras que los valores más bajos se registraron en Bahía Magdalena durante el mes de enero. Este patrón estacional es bastante estable y fue observado de manera general prácticamente durante todo el año (Fig. 2B).

Temporada	Campaña	Inicio	Final	Arrastres	Diversidad
	1	Jul/18/88	Jul/21/88	13	3.21
Verano	2	Ago/09/88	Ago/09/88	18	2.30
	3	Sep/12/88	Ser/15/88	15	3.27
	4	Oct/17/88	Oct/20/88	18	2.83
Otoño	5	Nov/07/88	Nov/10/88	18	2.90
	6	Dic/13/88	Dic/14/88	12	1.90
	7	Ene/24/89	Ene/26/89	18	3.09
Invierno	8	Feb/21/89	Feb/23/89	18	3.61
	9	Mar/14/89	Mar/16/89	18	3.53
	10	Abr/17/89	Abr/19/89	13	3.33
Primavera	11	May/26/89	May/28/89	18	3.32
	12	Jun/26/89	Jun/8/89	18	3.27
Total				197	

Tabla 1. Fechas y números de arrastres de redes para recolección de peces demersales por estación del año

Total



Fig. 2. Distribución espacial promedio de la (A) temperatura y (B) salinidad superficial (julio 1988 a junio 1989)

La profundidad promedio en la que se realizaron los muestreos biológicos fue de 9.8 m. La profundidad mínima fue de 2 m en las estaciones 14 y 18 de Bahía Almejas, mientras que la mayor profundidad de arrastre fue de 27m en la localidad 9 en la boca de Bahía Magdalena.

Al relacionar los valores de transparencia medidos con el disco de Sechii con respecto a la profundidad, se observó que los valores son relativamente semejantes cuando la profundidad <6m. En profundidades entre los 6 y 20m la transparencia fluctuó entre 4 m y 5 m mientras que a profundidades cercanas a los 24m la visibilidad promedio alcanzó hasta 6m. En general se observó que en los meses de primavera la transparencia tiende a ser más reducida en toda el área que en el resto del año.

Se identificaron 75 especies de peces demersales pertenecientes a 55 géneros y 32 familias. Durante el mes de julio se presentó la mayor riqueza específica, en tanto que en el otoño se presentó la menor riqueza específica. El número de especies se incrementó durante el invierno registrándose la mayor riqueza de especies

durante la primavera (Tabla 2).

El índice de valor biológico (IVB), indicó que Paralabrax maculatofasciatus es la especie más representativa de la comunidad del complejo lagunar, seguida por Eucinostomus dowii y Etropus crossotus. Los valores más bajos se registraron para especies relativamente raras como Urobatis maculatus, Achirus mazatlanus y Urobatis halleri (Tabla 3).

La variabilidad mensual del índice de diversidad de Shannon-Weiner, indicó que

los valores más altos se presentaron en invierno y primavera (3.09-3.53 bits ind<sup>-1</sup>), registrándose en verano y otoño los valores más bajos (1.29-3.27 bits ind<sup>-1</sup>). Espacialmente los valores más altos se presentaron en la Zona de Canales (3.98 bits ind<sup>-1</sup>), y los más bajos en Bahía Almejas (3.29 bits ind<sup>-1</sup>), los valores intermedios se registraron en Bahía Magdalena (3.5 bits ind<sup>-1</sup>).

Los valores de densidad poblacional (abundancia) más reducidos de captura se presentaron en las temporadas de otoño e invierno, los valores más altos se registraron en las temporadas de verano y primavera. El valor de densidad total anual expresado en términos de abundancia fue de 79.2 ind. ha<sup>-1</sup>.

Con relación a la biomasa capturada en peces demersales por temporada indica que se obtuvieron valores semejantes al de la densidad por abundancia, en verano y otoño se presentaron valores de biomasa bajos en relación a las temporadas de invierno y primavera. El valor total anual de biomasa fue de 5072 g ha<sup>-1</sup>.

Tabla 2. Composición temporal de especies de peces demersales del complejo lagunar de Bahía Magdalena

Temporada	Verano	Otoño	Invierno	Primavera	Todo el año
Abundancia	1682	1143	1428	2257	6510
Biomasa	96007	63393	109771	147523	416695
Especies	46	38	51	56	75
Diversidad	3.61	2.95	3.77	3.51	3.78
Equidad	0.65	0.56	0.66	0.60	0.61

Nombre científico	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Tot.
Paralabrax maculatofasciatus	16	13	17	18	18	17	17	15	17	17	16	17	198
Eucinostomus dowii	17	17	15	15	17	16	15	17	13	16	15	16	189
Etropus crossotus	18	0	18	17	15	18	18	0	18	18	18	18	176
Urobatis maculatus	2	0	0	14	11	12	14	14	16	14	13	14	124
Achirus mazatlanus	14	13	9	9	10	0	12	9	9	8	14	15	122
Urobatis halleri	13	0	12	9	3	13	13	13	15	7	0	0	98
Pleuronichthys ritteri	9	0	12	0	5	12	12	2	15	9	9	10	95
Eucinostomus gracilis	0	14	16	16	14	14	0	12	0	0	0	0	86
Diplobatis ommata	10	0	0	6	16	15	0	0	10	4	11	13	85
Paralichthys californicus	5	0	3	6	10	12	12	7	8	0	6	5	74
Sphoeroides annulatus	0	0	6	12	0	0	8	7	13	13	4	10	73
Haemulopsis leuciscus	11	16	13	6	8	0	6	0	0	1	3	0	64
Arius platypogon	7	18	0	0	0	0	3	0	0	15	17	0	60
Calamus brachysomus	4	0	10	13	0	12	3	4	0	1	0	7	54
Pleuronichthys coenosus	0	0	7	12	0	13	6	2	0	11	0	0	51
Sphoeroides lispus	0	0	0	0	7	0	3	0	13	1	10	11	45
Urotrygon asterias	0	0	0	0	0	0	9	8	6	0	12	8	43
Haemulopsis nitidus	0	15	14	6	3	0	0	0	0	0	0	4	42
Chaetodipterus zonatus	0	0	0	0	13	0	16	11	0	0	0	0	40
Orthopristis reddingi	15	13	2	0	0	0	0	2	0	0	1	6	39

Tabla 3. Valores acumulados de IVB especie y por mes

#### Distribución espacial de las especies

De acuerdo a los resultados de distribución espacial y biomasa de captura promedio por lance se caracterizó el hábitat mas frecuente por especie así como la estructura de tallas:

Paralabrax maculatofasciatus: Utiliza áreas protegidas y someras para crianza. En la localidad de Puerto Chale, en Bahía Almejas, abundaron los organismos de 50-90mm (Fig. 3A,B) mientras que las mayores tallas (150mm o más) fueron frecuentes en la zona de Bahía Magdalena-Zona de Canales (San Carlos, San Buto-El Chisguete). Se observó poca variación entre las tallas de un mismo lance, lo que sugiere que esta especie esta segregada en cardúmenes por tallas.

*Etropus crossotus:* Se realizaron capturas abundantes de organismos de >70mm en la boca de Bahía Magdalena y en Laguna Palmer. Las tallas pequeñas (<50mm) fueron abundantes en primavera (Fig. 3C,D).

*Eucinostomus dowii*: Las mayores tallas de captura promedio ( $\sim$ 100mm) se registraron a finales de invierno y principios de primavera, mientras que las menores tallas se registraron a fines de primavera e inicios de verano,

siendo un indicio de que esta especie se reproduce en la zona durante el invierno. El análisis de distribución por tallas no presentó patrones definidos, aunque la estructura por tallas de la captura por lance sugiere que esta especie forma cardúmenes de individuos de tallas similares (Fig. 3D,E). La captura de esta especie se registró durante todo el año de estudio, presentando las capturas más reducidas en las campañas de invierno, especialmente en las áreas con mayor influencia de aguas del exterior.

*Urobatis maculatus:* Esta especie se capturó en todas las temporadas del año, aunque es más abundante en invierno y primavera. La distribución espacial indicó que las mayores capturas se registraron en las localidades que se localizan entre Bahía Magdalena y la Zona de Canales. La distribución espacial por tallas indicó que los organismos más grandes se encuentran a mayores profundidades (Fig. 4A,B). Las tallas más grandes se encontraron en invierno y las tallas pequeñas a inicios de otoño. Al parecer la temporada reproductiva de esta especie se inicia en verano con una duración de al menos cuatro meses.



Fig. 3. Distribución espacial promedio abundancia (ind ha<sup>-1</sup>) y biomasa (gr ha<sup>-1</sup>) de (A,B) la cabrilla *Paralabrax maculatofasciatus* (C,D) lenguado *Etropus crossotus* y (E,F) la mojarra *Eucinostomus dowii* en el complejo lagunar Bahía Magdalena – Bahía Almejas (julio 1988 a junio 1989)



Fig. 4. Distribución espacial promedio abundancia (ind ha<sup>-1</sup>) y biomasa (gr ha<sup>-1</sup>) (A,B) la raya *Urobatis maculatus*, (C,D) la raya *Urobatis halleri* y (E,F) botete *Sphoeroides annulatus* en el complejo lagunar Bahía Magdalena – Bahía Almejas (julio 1988 a junio 1989)

*Urobatis halleri:* En la temporada de invierno en la boca de Bahía Magdalena se registraron las mayores capturas en abundancia numérica y menor biomasa individual. En el margen continental de Bahía Almejas las biomasas se incrementaron desde un promedio de 120 g en el estero Salinas, hasta 400 g promedio registrado en Puerto Chale en invierno-primavera. La captura de organismos grandes se registró de Curva del Diablo a San Carlos (Fig. 4C,D).

Sphoeroides annulatus: Las máximas capturas de esta especie se obtuvieron en invierno y primavera. Las tallas más pequeñas se presentaron en invierno, principalmente en la localidad de Laguna Palmer. A pesar de que se presentaron organismos pequeños (40 g) la mayor parte de los ejemplares fluctuaron entre los 150-300 g de peso. Las mayores tallas se presentaron desde La Libertad al estero El Chisguete, siendo comunes los organismos >600 g. Esta especie se distribuye principalmente en zonas protegidas y en profundidades someras (1.5-9 m), tendiendo a aumentar la talla conforme aumenta la profundidad (Fig. 4E,F). Aunque no se capturaron organismos en las playas, fue común observar organismos pequeños en playas arenosas-rocosas o con mangle a profundidades menores a 1m.

## Análisis de asociación por especie

El análisis de agrupación por especies de la captura indicó la formación de 2 grupos. El primer grupo integró a las especies de afinidad tropical: *Eucinostomus gracilis*, *Eucinostomus dowii*, *Calamus brachysomus*, *Hemulopsis leuciscus y Hemulopsis nitidus*. El segundo grupo la integraron el resto de las especies que toleran una amplia variación en las condiciones ambientales (euri) (Fig. 5A).

## Afinidad de las áreas de muestreo

Cuando se analizó la similitud entre las localidades de muestreo, fue evidente la asociación de las estaciones que tienen influencia oceánica por ser bocas o estar en áreas de influencia del agua adyacente localizado en la plataforma continental, de tal manera que las localidades de López Mateos, La Florida, La Bocana, Médano Amarillo, Las Palmitas, Puerto Cortés, La Poza y Canal de Rehusa presentaron una estructura de la comunidad de peces demersales relativamente semejante, siendo más frecuentes y abundantes las especies de afinidad zoogeográfica Californiana como los lenguados Paralichthys californicus, Pleuronichthys coenosus, P. ritteri, y especies de amplia distribución como Etropus crossotus y Urobatis halleri (Fig. 5B). El resto de las localidades presentaron una variabilidad muy grande en la estructura de la comunidad como resultado de que en la época fría, especies de afinidad templada y de amplia distribución penetran hasta las áreas interiores del complejo lagunar donde se encuentran las especies de afinidad tropical como las mojarras de género Eucinostomus y los haemulidos del género Haemulopsis.

# DISCUSIÓN

Al realizar una comparación de la estructura de la comunidad íctica de Bahía Magdalena con respecto a la observada en otras áreas protegidas del estado de Baja California Sur, resalta el gran número de especies de peces que se presentan en Bahía Magdalena (313) y las diversas afinidades que estas presentan (Galván-Magaña et al. 2000).



# Distancia euclidiana

Fig. 5. Análisis de asociación de (A) especies de peces demersales y (B) de estaciones de muestreo en el complejo lagunar Bahía Magdalena – Bahía Almejas (julio 1988 a junio 1989)

Con la red de arrastre utilizada en este estudio solo se capturan ejemplares con movilidad reducida, por lo que solo se capturaron 75 especies. La presencia de especies de peces demersales en distintas áreas para las diferentes temporadas es un indicador de que los organismos aprovechan su capacidad de movimiento para ocupar áreas de acuerdo a su afinidad y temporalidad, posiblemente asociados a sus ciclos de reproducción, refugio y búsqueda de alimento.

Las especies de afinidad templado- tropical se encuentran ampliamente distribuidos en todo el complejo lagunar desde finales de invierno y primavera, restringiendo el área de distribución a la boca de Bahía Magdalena, Boca de la Soledad y áreas adyacentes en verano y otoño. Las especies de afinidad tropical se encuentran restringidas en la temporada fría a las áreas protegidas someras con relativamente mayor temperatura (esteros y lagunas lejos de las bocas), ocupando una mayor cobertura de distribución durante la temporada cálida, y una menor presencia en la boca de Bahía Magdalena. Esto produce una mezcla espacio-temporal de especies en los meses de primavera, cuando los cambios de la temperatura son graduales. Un patrón de distribución por asociaciones de peces con afinidad zoogeográfica similar fue reportado por Musick et al. (1985) en la sonda de Pamlico, Carolina del Norte. Estos autores consideran que es probable que la temperatura sea el principal factor que regula la distribución de las especies en una determinada zona.

Este patrón está estrechamente influenciado por las corrientes de marea. Acosta-Ruiz & Alvarez-Borrego (1974) y Acosta-Ruiz & Lara-Lara (1978) mencionan que la batimetría, las corrientes de mareas, el calentamiento y la evaporación no uniforme son los factores más importantes que afectan las características hidrológicas de este complejo lagunar. Sin embargo, es necesario considerar también el efecto de los vientos dominantes del noroeste, lo cual provoca la salida de una corriente residual de origen estuarino, con valores altos de temperatura y salinidad, principalmente en la boca de Bahía Magdalena y en la temporada de inviernoprimavera, provocando la presencia de aguas ricas en nutrientes y de baja temperatura y salinidad (Sánchez-Montante et al. 2007). Este efecto no cuantificado directamente, fue reflejado por la presencia de especies de afinidad tropical en las estaciones de muestreo más interiores, las cuales presentaban mayor temperatura durante todo el año, y a la mayor abundancia y biomasa durante invierno-primavera.

Las campañas de muestreo en 1988-1989 se realizaron durante una anomalía en la temperatura global del mar, la cual se encontraba a -2° C con respecto al promedio histórico (Reynold & Smith 1995), lo cual podría influir en los resultados en cuanto al número de especies de afinidad templado-tropical. Los eventos de surgencias usualmente elevan considerablemente la fertilidad del complejo lagunar, así como las diferencias de temperatura y salinidad de los márgenes interiores (Gutiérrez-Sánchez 1997) los cuales conservan temperaturas mínimas entre 15° C y 23° C, aún durante la temporada fría, mientras que las temperaturas del fondo son bajas en la boca de Bahía Magdalena de 14° C a 18° C aún en la temporada cálida. Esta variación de temperatura favorece la presencia de especies de afinidad tropical durante todo el año en los márgenes interiores del complejo, así como especies de afinidad templada en la boca de Bahía Magdalena, y una alta densidad poblacional de estas especies de peces demersales de afinidad templada durante la época fría.

La existencia de áreas con valores de temperatura y salinidad bajos, se originan por la influencia de los eventos de surgencias, las cuales son el resultado del arrastre del viento sobre las aguas superficiales, principalmente en las bocas de Bahía Magdalena y La Soledad, mientras que en las zonas advacentes protegidas y con poca o nula influencia de las condiciones hidrográficas fuera del complejo lagunar, los valores de temperatura y salinidad son altos, lo cual permite el establecimiento de especies de afinidad tropical. Este patrón trae como consecuencia la existencia de una distribución discontinua de especies de afinidad tropical en forma espacial tan marcada como lo permita la diferencia de temperaturas y la capacidad de las especies en tolerar amplios gradientes en las distintas temporadas del año (Hubbs 1960).

En la costa occidental de Baja California Sur, las especies de afinidad Panámica aumentan conforme disminuye la latitud, mientras que las de afinidad Californiana disminuyen en su representación de manera inversa. Los porcentajes de especies de cada provincia zoogeográfica en el complejo lagunar de Bahía Magdalena se distribuye de la siguiente forma: 25% Californianos, 9%, Mexicanos, 49% Panámicos, 12% del Pacífico Oriental Tropical, 1% Circunpacíficos y 5% Circuntropicales.

Según Galván-Magaña et al. (2000) en Bahía Magdalena, las especies de la provincia Californiana no desaparecen, sino que se incrementa en forma significativa las de afinidad Panámica, de tal manera que la estructura específica es más semejante a la que se presentan en las áreas del centro y sur del Golfo de California. Lo anterior coincide notablemente con los resultados del presente estudio y con lo mencionado por Briggs (1974) quien define a Bahía Magdalena como parte de una zona de transición entre diferentes provincias zoogeográficas.

Las especies de peces demersales tienen una separación de hábitat distinto en función de su afinidad y origen. Por ejemplo, las especies de afinidad templada presentan una distribución amplia en todo el complejo lagunar durante finales de invierno y primavera, mientras que en verano y otoño, restringen su distribución a la zona de influencia de las bocas de Bahía Magdalena (Bahía Almejas y La Soledad). En cambio, las especies de afinidad tropical se encuentran restringidas en la temporada fría a las áreas más internas de la bahía donde la temperatura alcanza valores relativamente más elevados. Esto produce una mezcla de especies de diferente afinidad zoogeográfica dentro del complejo lagunar en los meses de primavera, cuando los gradientes de la temperatura son relativamente reducidos. permanente las especies de afinidad templado-tropical como *Pleuronichthys ritteri* y *Paralichthys californicus*, mientras que en la temporada cálida, las especies de afinidad tropical *Etropus crossotus* y *Urobatis halleri*, se distribuyen ampliamente en las localidades más protegidas del complejo lagunar, específicamente desde Curva del Diablo (3 especies) a Punta Verde (6) en la Zona de Canales, Estero Salinas (14), Laguna Palmer (15) y Puerto Chale (18) en Bahía Almejas

Al analizar los resultados del índice de valor biológico, se observó que *P. maculatofasciatus, E. dowii y E. crossotus* son especies numéricamente dominantes y típicas del complejo lagunar durante el periodo de estudio (1988-89). Asimismo existen otras especies que presentan una clara estacionalidad, influenciada probablemente por su ciclo vital, por ejemplo, el chigüil *A. platypogon*, es más susceptible de ser capturado en tallas pequeñas, o cuando se encuentra en reproducción con huevos fecundados en el área de la boca de Bahía Magdalena (Van der Heiden 1985).

Durante el mes de agosto de 1988, se capturó un número elevado de juveniles de *A. platypogon*, lo cual indica que esta especie se reproduce y posiblemente complete su ciclo de vida dentro de la zona, principalmente reproduciéndose a principios del verano. Existen otras especies como *U. halleri* y *C. brachysomus* que probablemente se encuentran en reproducción, específicamente esta última especie, la cual presentó tallas pequeñas en la captura. Yáñez-Arancibia et al. (1985) mencionan que el concepto de especie dominante para zonas tropicales, se da por su abundancia numérica, la biomasa, la amplia distribución y la frecuencia de aparición en la comunidad, a diferencia de las zonas templadas, donde únicamente se considera la abundancia numérica .

El índice de diversidad de Shannon & Wiener, indicó que existe una mayor diversidad de especies en la Zona de Canales, probablemente como una consecuencia de la influencia de la costa Pacífica y alta diversificación de nichos en áreas de manglar (Gutiérrez-Sánchez 1997, Chávez-Rosales 2006) en las dos localidades de colecta que se encuentran más cercanas a la boca de La Soledad (1 y 2), y en las cuales fue frecuente la captura de especies de afinidad templada en la mayoría de las campañas. Asimismo, los gradientes de salinidad y temperatura indican que desde la Curva del Diablo a Punta Verde, se encuentran condiciones propicias para albergar especies de afinidad tropical (localidades 3-6). Los mayores valores de diversidad en esta zona puede ser debido a un mayor diversidad de hábitats (arena, manglar) Bahía Magdalena y Bahía Almejas tienen menos diversificación de hábitats en las localidades donde se puedan realizar arrastres epibénticos. Sin embargo, Bahía Magdalena tiende a presentar mayor número de especies de afinidad templada mientras que en Bahía Almejas las especies son de mayor afinidad tropical, incluyendo algunas especies como Halichoeres semicinctus, Oxijulis californica, Thalassoma grammaticum e Hypsoblennius gentilis, las cuales fueron capturadas exclusivamente en esta zona en el mes de julio.

El análisis de asociación por especies indica la separación de dos grupos, los de afinidad tropical, formado por E. gracilis, C. brachysomus, E. dowii, H. leuciscus y H. nitidus representan las especies de afinidad tropical. El otro grupo está representado por especies de afinidad templado tropical, como los botetes (Sphoeroides spp), rayas, pero destacando la cabrilla Paralabrax maculatofasciatus, los lenguados Etropus crossotus y Achirus mazatlanus, y especies de afinidad netamente templada, como lenguados (Género Pleuronichthys y Paralichthys). En cuanto a la distribución espacial, la similitud entre las localidades de muestreo, une a las estaciones que tienen influencia de aguas de la plataforma continental advacente por ser bocas o estar en áreas de influencia del Océano Pacífico, de tal manera que las localidades de López Mateos, La Florida, La Bocana, Médano Amarillo, Las Palmitas, Puerto Cortés, La Poza y Canal de Rehusa presentan una estructura semejante durante todo el año (Fig. 5B). El resto de las localidades presentan una variabilidad muy grande en la estructura de la comunidad como resultado de que en la época fría, numerosas especies de afinidad templada penetran hasta estas áreas interiores donde se encuentran permanentemente las especies de afinidad tropical, como lo son E. dowii, E. gracilis, H. leuciscus, H. nitidus y C. Brachysomus. Adicionalmente, estas áreas tienden a presentar altas fluctuaciones en temperatura, salinidad y oxígeno disuelto, principalmente en invierno-primavera por efecto de los nortes.

La estructura de la captura en el área de las bocas es consistente, con especies de afinidad templado-tropical, mientras que hacia las áreas protegidas se registran especies de afinidad tropical todo el año, con intrusión de especies de afinidad templado tropical en invierno y principalmente en primavera. Esto provocó que los valores más altos en los índices ecológicos se registraran en áreas protegidas durante la época fría. Estudios futuros posiblemente debieran enfocarse en conocer la dinámica poblacional de las especies con alto valor biológico, que posiblemente tengan una fuerte influencia en la trofodinámica del sistema lagunar de Bahía Magdalena como fue evidenciado para los peces que habitan en la zona de manglar de Bahía Magdalena (Chavez-Rosales 2006).

*Agradecimientos*: Se agradece el apoyo económico del Instituto Politécnico Nacional (COFAA y EDI). A los editores, que al sintetizar e integrar este libro, aportaron datos valiosos que mejoraron este artículo.

#### LITERATURA CITADA

- Acosta-Ruíz M, Álvarez BS (1974) Distribución superficial de algunos parámetros hidrológicos, físicos y químicos en el estero de Punta Banda, B.C., en otoño e invierno. Cienc Mar 1:16-45
- Acosta-Ruíz M, Lara-Lara LJR (1978) Resultados físico-químicos en un estudio de variación diurna en el área central de Bahía Magdalena, Baja California Sur, México. Cienc Mar 5:37-46

- Allen GR, Robertson DR (1994) Fishes of the tropical eastern Pacific. Univ Hawaii Press, Honolulu
- Briggs JC (1974) Marine zoogeography. McGraw-Hill Book Company, New York
- Chávez-Rosales S (2006) El papel de los manglares en la producción de las comunidades acuáticas de Bahía Magdalena, BCS. Tesis de Doctorado, Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas, La Paz, Baja California Sur, México
- De la Cruz-Agüero J, Galván-Magaña, F, Abitia-Cárdenas LA, Rodríguez-Romero J, Gutiérrez-Sánchez FJ (1994) Lista sistemática de los peces marinos de Bahía Magdalena, Baja California Sur (México). Cienc Mar 20:17-31
- Fischer W, Krupp F, Schneider W, Sommer C, Carpenter KE, Niem VH (1995) Guia FAO para la identificación de especies para los fines de pesca Pacífico Centro-Oriental. Vols II y III. Roma FAO
- Galván-Magaña F, Gutiérrez-Sánchez FJ, Abitia-Cárdenas LA, Rodríguez- Romero J (2000) The distribution and affinities of the shore fishes of the Baja California Sur lagoons. En: Aquatic Ecosystems of Mexico: Status and Scope. Munawar M, Lawrence SG, Munawar IF, Malley DF (eds) Ecovision World Monograph Series (EWMS). Backhuys Publisher. Holanda
- Gauch H (1982) Multivariate analysis in community ecology. Cambridge Univ. Press. New York. USA
- Gutiérrez-Sánchez FJ (1997) Ecología de peces de fondos blandos del complejo lagunar Bahía Magdalena B.C.S., México. Tesis de Maestría, Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas, La Paz, Baja California Sur, México
- Hubbs CL (1960) The marine vertebrates of the outer coast. Systematic zoology; Symposium: The biogeography of Baja California and adjacent seas. 9(3-4):134-147
- Jordan DS, Evermann BW (1896-1900) The fishes of North Middle America. Bull. U.S. Nat. Mus. 47:1-3313
- Loya SDH, Escofet AF (1990) Aportaciones al cálculo del índice de valor biológico (Sanders, 1960). Cienc Mar 16:97-115
- Ludwig J, Reynold J (1988) Statistical Ecology. John Wiley and Sons New York
- Mann KH (2000) Ecology of Coastal Waters: with implications for management. Blackwell Science, Inc. USA
- Margalef DR (1974) Ecología. Ediciones Omega. Barcelona España
- Mathews CD (1975) El desarrollo de la zona de Bahía Magdalena. Un panorama bio-socioeconómico en una región

en plena desarrollo. Cienc Mar 2:47-50

- Miller DJ, Lea RN (1972) Guide to the coastal marine fishes of California. Calif. Dept. Fish and Game, Fish Bull 157:1-249
- Musick JA, Colvocoresses JA, Foell EJ (1985) Estacionalidad y distribución, presencia y composición de las asociaciones de peces de la sonda de Chesapeake. En: Yañez-Arancibia A (ed) Ecología de comunidades de peces en estuarios y lagunas costeras. UNAM, México
- Reynold R, Smith T (1995) A high-resolution global sea surface temperature climatology. J Clim 8:1571-1583
- Rodríguez-Romero J, Abitia-Cardenas LA, Galván-Magaña F (1992) First record of partial ambicoloration in spotted turbot (*Pleuronichthys ritteri*). Calif Fish and Game 77:212-213
- Sánchez Montante O, Zaitsev O, Saldivar Reyes M (2007)Condiciones hidrofísicas en el sistema lagunar Bahía Magdalena-Almejas. En: Funes-Rodríguez R, Gómez-Gutierrez J, Palomares-García R (eds) Estudios Ecológicos en Bahía Magdalena. CICIMAR-IPN, La Paz, Baja California Sur, México, p 1-28
- Torres-Orozco RE, Castro-Aguirre JL (1992) New record of tropical fishes in the lagoon system of Bahía Magdalena-Bahía Almejas, Baja California Sur, México. Anales del Instituto de Biología, Univ Nal Autón México Ser Zool 63:281-286
- Van der Heiden AM (1985) Taxonomía, biología y evaluación de la ictiofauna demersal del Golfo de California En: Yañez-Arancibia A (ed.) Recursos pesqueros potenciales de México: La pesca acompañante del camarón. Prog Univ de alimentos. Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, Instituto Nacional de la Pesca. UNAM México DF
- Villavicencio-Garayzar C, Abitia-Cárdenas LA (1994) Elasmobranquios de Bahía Magdalena y laguna San Ignacio, B.C.S., México. Rev Inv Cient UABCS 5:63-67
- Walker J, Bussing W (1996) Two new pufferfishes of the genus Sphoeroides from the Eastern Pacific. Copeia 3: 677-684
- Yáñez-Arancibia A, Sánchez-Gil P (1988) Ecología de los recursos demersales marinos: Fundamentos en las costas tropicales. A.G.T. (ed) México DF
- Yáňez-Arancibia A, Lara-Domínguez L, Aguirre-León A, Díaz-Ruíz S, Amezcua-Linares F, Chavence P (1985) Ecología de poblaciones de peces dominantes en estuarios tropicales: Factores ambientales que regulan las estrategias biológicas y la producción. En: Yañez-Arancibia A (ed) Ecología de comunidades de peces en estuarios y lagunas costeras. UNAM. Méx.

Gutiérrez-Sánchez FJ, Galván–Magaña F, Abitia–Cárdenas LA, Rodríguez–Romero J (2007) Peces demersales de Bahía Magdalena. En: Funes-Rodríguez R, Gómez-Gutiérrez J, Palomares-García R (eds) Estudios ecológicos en Bahía Magdalena. CICIMAR-IPN, La Paz, Baja California Sur, México, p 241-250

# Variabilidad interanual (1983-87) y (1996-97) de la ballena gris *(Eschrichtius robustus)* en la zona norte de Bahía Magdalena

# Luis A. Fleischer<sup>1</sup>', Esperanza Michel–Guerrero<sup>1</sup>, Alejandro Zárate–Villafranco<sup>2</sup>, Alejandro Álvarez–Andrade<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Centro Regional de Investigación Pesquera La Paz, Instituto Nacional de La Pesca-SAGARPA. Carretera a Pichilingue Km 1 s/n, La Paz, 23020, Baja California Sur <sup>2</sup> Depto. de Plancton y Ecología Marina. Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas, Instituto Politécnico Nacional, Av IPN s/n. Col Playa Palo de Sta. Rita, AP 592, La Paz, 23096, Baja California Sur <sup>3</sup> Universidad Autónoma de Baja California Sur, Carretera al Sur Km 5.5. AP 19-B, La Paz, 23080, Baja California Sur

RESUMEN: Este estudio presenta información demográfica del componente poblacional de la ballena gris que cada invierno, utiliza la zona norte del complejo lagunar de Bahía Magdalena, Baja California Sur, México, para su reproducción y crianza. Se analizan las fechas de arribo, los patrones de ocupación y los periodos de mayor abundancia de ballenas, además de los números máximos detectados y también, la importancia relativa de la zona en la producción de crías por temporada que se comparan con otros sitios durante su estancia invernal en México. El estudio deriva de métodos similares y procedimientos de campo basados en censos en bote desarrollados sistemáticamente durante las temporadas de 1983-1987 y posteriormente una década después, en 1996-1997, para evaluar la abundancia de la ballena gris. El período de ocupación de las ballenas grises es similar al observado en otras áreas en B. C. S., donde los máximos poblacionales se presentan a mediados de febrero de cada año. Durante las temporadas de 1983 a 1987 la proporción de crías, en relación al número de adultos presentes fue del 44.9% y en temporadas posteriores (1996-1997) fue ligeramente menor (41.8%), sin que exista una diferencia estadística significativa. Los resultados apoyan la hipótesis de que la población de ballena gris que visita la zona norte de Bahía Magdalena, se encontraba estable durante ambos periodos de estudio, alcanzando un nivel máximo entre 1984-1985, mismo que no se han vuelto a detectar en años posteriores, a pesar de que la población ha demostrado una recuperación total y se ha mantenido una estabilidad ecológica en el área de estudio. De acuerdo a los resultados obtenidos, la zona norte de Bahía Magdalena, es de gran relevancia para la reproducción y crianza de la ballena gris, hecho que se debe de considerar en cualquier plan de ordenamiento y manejo de las actividades turístico-educativas desarrolladas con las ballenas en el área de estudio.

PALABRAS CLAVE: Censos · Ballena gris · Migración · Dinámica poblacional

ABSTRACT: In this study demographic information of the reproductive component of the gray whale population which utilizes each winter the northern portion of the lagoon complex of Magdalena bay for its reproduction, calving and nursing are presented and compared. The main objectives studied here were their arrival dates, the occupancy patterns and the periods of major abundance and the peak numbers detected at each season, as well as, the relative importance of this area in the production of calves by season, aspects which were studied and compared with the other winter areas of the gray whale located in the waters of Mexico. These studies were derived from identical methodologies and field procedures based in boat censuses which were developed systematically during the 1983-1987 seasons and lately, one decade later, in 1996 and 1997, directed to assess the gray whale abundance. The results obtained in this zone of the Magdalena bay complex are coincident which those gray whale patterns in other winter areas used by the species in B.C.S. In all the reproductive areas of the species in Mexican waters the maximum populations numbers were observed in middle February each year. During the 1983-1987 seasons the comparative obtained values for the production of calves related to adult abundance had a general average of 44.9%. Respectively for the 1996-1997 later seasons, the average production of calves represented 41.8%, values which do not have a significant statistical difference between them, although those numbers were obtained almost a decade later. These results allowed to test the basic hypothesis of this research, which initially assumed that this population presented a stable calve production during the two studied periods, showing a maximum in 1984-1985 seasons, levels which has not been observed later, despite of the population total recovery reached since those years and the population and ecological stability of the study area. Other important results derived from this study shows that inside this northern region of the Magdalena bay, they are during the winter season two main areas for their reproduction and calving activities, aspect which is of prime interest and application for the proper management and regulation of the tourist-educative activities developed with these whales for several years in the studied area.

KEY WORDS: Census · Gray whales · Migration · Population dynamic

# INTRODUCCIÓN

De los mamíferos marinos presentes en las aguas de México, la ballena gris (*Eschrichtius robustus*), es sin duda uno de los cetáceos que proporciona mayor accesibilidad para la realización de investigaciones específicas y es además, una especie que por su notable crecimiento y recuperación poblacional nos permite evaluar diversos aspectos de su dinámica poblacional.

Independiente de estos atributos científicos, el doble paso de esta especie durante su migración de inviernoprimavera por la costa occidental de la península de Baja California y su constante arribo hacia los sitios de reproducción, ha generado un creciente interés público en la observación de este fenómeno biológico, convirtiéndose así, en un atractivo turístico de repercusión mundial. De todas las zonas donde se observa el arribo de la ballena gris (Fig. 1), el área de Bahía Magdalena es de especial atención, no sólo por su valor histórico (aquí se iniciaron las capturas comerciales de este cetáceo en 1845-1846, Henderson, 1984), sino también, porque es el área reproductiva más sureña. Además de que la demanda turístico-educativa se ha incrementado en mayor medida en los últimos años (Gardner & Chávez-Rosales 2000).

En el año 1981 hubo reconocimientos aéreos de las tres zonas que conforman el amplio complejo lagunar de Bahía Magdalena. Esfuerzos realizados a bordo de un helicóptero Bell modelo 250 de la Armada de México. Esta exploración aérea permitió familiarizar a los investigadores con las tres regiones y sobre todo, el detectar la zona de mayor abundancia de ballenas. Con esto, se pudo identificar y definir el área principal de estudio, la que correspondió al estero "Matancitas", desde la "Boca de la Soledad" hasta la "Curva del Diablo" (Fleischer 1981).

En febrero y marzo de 1982, se realizaron otros recorridos de prueba en la misma zona. Esta vez, a bordo de una avioneta de ala alta, lo que sirvió para corroborar la distribución y las áreas de mayor presencia de ballenas y también se realizaron los primeros censos en lanchas equipados con motores fuera de borda. Esto sirvió para



Fig. 1. Localización del complejo lagunar de Bahía Magdalena, B.C.S. y otras áreas de distribución histórica de la ballena gris en aguas Mexicanas

evaluar la utilidad y factibilidad de estos métodos de estudio en la zona seleccionada.

Se decidió entonces, tanto por los resultados preliminares obtenidos en 1981, como por la importancia numérica detectada en 1982 y por la permanencia estacional de la ballena gris en ese sitio, en ambos muestreos, el concentrar los estudios futuros del entonces denominado Programa Nacional de Investigación y Conservación de mamíferos Marinos del Instituto Nacional de la pesca (PNICMM-INP) comenzando su actividad en el área norte del complejo Bahía Magdalena. Así desde la temporada de 1983 hasta la de 1987 y en 1996 y 1997, se trabajó estacionalmente en ese sitio. Los resultados obtenidos se publicaron en Fleischer & Contreras (1983), Fleischer et al. (1984), Fleischer & Bedington (1985), Fleischer & Contreras (1986), Fleischer (2002).

En este trabajo se enfatiza la importancia que representa el área norte del complejo lagunar, donde se ubica el Puerto Adolfo López Mateos, conocido también como el estero "Matancitas". En esta zona se concentra el mayor número de ballenas y presenta una densidad poblacional importante para la región de B.C.S. Estos factores, aunados a la tradición de México en la conservación de ballenas, originaron la necesidad de generar acciones específicas de investigación y de protección para la especie y su ambiente en ese sitio. Estos esfuerzos fueron paralelos a los realizados en todas las áreas de ocupación de la ballena gris en México, por el PNICMM-INP. Este trabajo es complemento de informes y publicaciones elaboradas por el PNICMM-INP durante esos años y presenta un análisis comparativo de todos los resultados obtenidos en ese sitio durante las temporadas de 1983-1987 y 1996-1997.

## **OBJETIVOS**

(1) Determinar los patrones de abundancia, ocupación y distribución estacional de la ballena gris en el área Norte de Bahía Magdalena, (estero "Matancitas"), B.C.S. (2) Determinar el patrón de uso estacional de esta zona por las ballenas durante las temporadas de estudio de 1983-1987 y 1996-1997. (3) Cuantificar y comparar el número de ballenatos en relación al número de adultos presentes, así como el índice de mortalidad natural.

# METODOLOGÍA

Siguiendo la zonación propuesta por Álvarez-Borrego et al. (1976), se subdividió a Bahía Magdalena para su investigación en tres áreas bien diferenciadas; la zona norte o estero "Matancitas", su zona central denominada Bahía Magdalena y que da nombre a toda la región y la zona sur llamada Bahía Almejas.

La porción norte del complejo Bahía Magdalena, Baja California Sur, México, corresponde al denominado "Estero Matancitas", que se comunica al Océano Pacífico por una angosta entrada denominada "Boca de la Soledad", de aproximadamente 1 km. de ancho, que se continúa con un estrecho canal de acceso, que se prolonga hasta una sección de unos 8 km de largo, terminando al sureste en el puerto Adolfo López Mateos. A partir de este punto hacia el Sur el canal ofrece buenas condiciones para la navegación, con profundidades promedio de 11m (Norris & Gentry, 1974). Según Contreras (1985) la profundidad promedio del canal principal es de 7.5 m, separándose del mar por un estrecho cordón litoral formado por dunas de arena muy fina. En este canal se presenta también una extensa cobertura de manglar y se ha reconocido como una zona donde se genera una gran producción biológica (Chávez-Rosales 2006), terminando a 30 km al Sur en una zona conocida como "La Curva del Diablo" a los 25°00'N y 112°15'W (Fig. 2).

El estero "Matancitas" tiene inmejorables condiciones naturales para este tipo de investigaciones, ya que el cuerpo de agua está conformado por un canal principal bien definido en su orientación, casi recto y sin canales secundarios o bifurcaciones viables para ser utilizadas por las ballenas, teniendo además, una anchura y profundidades bastante uniformes y homogéneas en toda su extensión.

Por estas características naturales, el estero "Matancitas" se utilizó para el desarrollo de los censos, utilizando una sola embarcación de fibra de vidrio, de 6 m de largo, equipada con un motor de 40 hp y/o 55 hp, en la que se recorrieron cuatro transectos definidos, con una velocidad calibrada (aproximadamente 18 km), velocidad mayor al desplazamiento normal de las ballenas en tránsito (14 km).

Al igual que en los otros sitios de estudio de las ballenas en B.C.S., todo el personal participante tuvo seminarios de preparación previos y varios recorridos de práctica y familiarización con el método y con el manejo de la información generada a bordo de las lanchas. Esto fue un procedimiento establecido al inicio de cada temporada, para estandarizar así el desempeño de los investigadores y disminuir en lo posible el error que se puede inducir por la falta de experiencia. En Bahía Magdalena, durante los años que aquí se reportan, se contó con los mismos observadores y los mismos timoneles que participaron en el desarrollo de los censos desde lanchas. Las referencias secuenciales ya listadas aportan en varios anexos los nombres de los colaboradores científicos que trabajaron en cada temporada Fleischer & Contreras (1983), Fleischer et al. (1984), Fleischer & Bedington (1985), Fleischer & Contreras (1986) y Fleischer (2002).

Las ballenas para su enumeración se categorizaron como: Con cría (C/cría), las que fueron detectadas en compañía de ballenatos y Solitarias (S), aquellas observadas sin la compañía de crías. Los totales aquí reportados son la suma de estos dos componentes, más el número de ballenatos (crías) observados. Además, se anotaron los aspectos climáticos relacionados con la detección de cetáceos como son: estado del mar en la escala de Beaufort (0-7), velocidad y dirección del viento. Los censos se suspendieron cuando se registraron estados del mar iguales o superiores a Beaufort 4, o bien por



Fig. 2. Los cuatro transectos definidos en el área de estudio correspondiente a la zona norte de Bahía Magdalena (estero Matancitas)

presencia de neblina o lluvia que son aspectos que imposibilitaban o que sesgan las observaciones.

Los datos colectados incluyeron el ángulo de la observación: considerando que de la proa a la popa el ángulo representaba 180° y que el observador se instalaba en la parte centro-lateral de la lancha de manera perpendicular denotando un ángulo de visión de 90°, y en diagonal un ángulo de 45°, el observador podía estimar con mayor precisión la posición angular del avistamiento. También, se registró la hora local de cada avistamiento. Estas variables permitieron un análisis comparativo entre los diferentes años de muestreo. El esfuerzo de búsqueda fue registrado con la hora inicial al arranque del censo en una zona determinada y el tiempo secuencial recorrido, contabilizando el tiempo de búsqueda total. También se anotaron los ejemplares, adultos o crías encontrados muertos, detectados durante los recorridos sistemáticos de los cuatro transectos definidos.

A bordo de las lanchas, además del timonel, responsable

de la seguridad y del desarrollo comparativo del esfuerzo de búsqueda durante los recorridos, hubo dos observadores principales situados uno a cada banda de la embarcación cubriendo así cada uno, un área delimitada por un ángulo de 180° a cada lado de ésta, tomando como cero la proa y el ángulo de 180° como la popa. Un tercer observador abordo, auxilió al timonel y a la tripulación en lo necesario y substituyó en caso de requerirse a alguno de los dos observadores principales o bien desarrolló observaciones especiales sobre el comportamiento u otras características de las ballenas.

Para el desarrollo de estos trabajos se siguieron los procedimientos diseñados tanto para censos en lanchas como para censos aéreos por Fleischer (1978, 1979, 1980, 1990), descritos también en detalle en Fleischer & Cervantes (1982); Fleischer & Beddington (1985), los que han servido de base para el desarrollo de ésta y otras investigaciones del PNICMM-INP, e incluso, de otras instituciones e investigadores trabajando con la ballena

gris, como por ejemplo Bryant et al. (1984), Aguirre (1988) y Sánchez (1997).

Se realizó el análisis estadístico no paramétrico de Kruskal Wallis para determinar si hay variación en las abundancias de ballena gris en los diferentes años de muestreo y en su distribución en los diferentes transectos, así también, el análisis de cluster para observar la probable similaridad entre los años de estudio.

# RESULTADOS

## **Marco ambiental**

Los parámetros ambientales como temperatura, oxígeno disuelto, potencial hidrógeno, transparencia y batimetría, fueron determinados por primera vez en esta zona en muestreos realizados de mayo a noviembre de 1982 por la empresa ROFOMEX (Contreras comunicación personal) y aunque estos muestreos no coincidieron con los meses de mayor abundancia de ballenas, si dan una idea de sus variaciones (datos tomados durante el evento El Niño 1982-83). Además se presentan los promedios anuales por zonas, presentándose los más relevantes para los objetivos de nuestro estudio en la Tabla 1.

**Temperatura del agua**. Las temperaturas del agua registradas dan un promedio anual superficial de 24.29° C y en el fondo de 24.14° C indicando gran homogeneidad y poca estratificación de la columna de agua, notándose además un promedio mayor en un área específica, el denominado (Transecto III) de la zona de estudio.

**Oxígeno**. La concentración de oxígeno disuelto en el área de estudio es similar a las proporciones encontradas en el mar abierto.

Potencial hidrógeno. El valor promedio anual

encontrado (8.0) demuestra una estabilidad alcalina en este sistema estuarino.

**Batimetría**. La batimetría de las diferentes áreas que comprende el estero "Matancitas" se aprecian en la tabla 2. De acuerdo a la profundidad observada en las diferentes áreas, sólo en un 61% del área total del estero viable de ser utilizada por los cetáceos, con una superficie total aproximada de 7.77 km<sup>2</sup>. La superficie del denominado transecto 1, que cuenta con una longitud aproximada de 2 km, no se incluye en la tabla comparativa, ya que éste sólo fue significativo en términos de presencia de ballenas durante ciclos de marea alta (Figura 2).

#### Abundancia, ocupación y producción de crías

Los resultados de los censos en lanchas realizados en el área norte de Bahía Magdalena durante las temporadas invernales de 1983 a 1987 son reportados en forma secuencial y se comparan y complementan con los datos inéditos obtenidos en las temporadas 1996 y 1997. Estos valores se presentan en las Tablas 3 y 4, que tabulan por temporada y transecto, el número semanal de ballenas con crías, ballenas solitarias y crías detectadas; mostrándose además, los niveles de esfuerzo, en horas y minutos y se resaltan además en ellas las semanas de mayor abundancia. Estas correspondieron en casi todas las temporadas a los mediados o principios de Febrero, siendo excepciones 1985 y 1996 en dónde los máximos poblacionales se obtuvieron en la penúltima y última semana de ese mes, (Fig. 3).

Estas figuras nos permiten también conocer el patrón de ocupación de esta zona, que abarca de mediados de enero, a mediados de marzo. El patrón de arribo observado fue similar, iniciando con pocos individuos,

PARAMETRO		TRANS	SECTOS		PROM.	DESV.	
AMBIENTAL		Ι	II	III	IV	ANUAL	ESTANDAR
TEMPERATURA	SUPERFICIE	23.4	24.06	24.35	24.3	24.29	0.76
( C)	FONDO	23.4	23.96	24.55	24.1	24.14	0.76
OXIGENO	SUPERFICIE	5.8	5.92	5.85	6.0	5.89	0.34
(ml/l)	FONDO	5.3	5.72	5.68	5.8	5.67	0.40
рН	SUPERFICIE	8.1	8.00	8.00	8.0	8.01	0.03
	FONDO	8.0	8.02	7.98	7.9	7.99	0.05
TRANSPARENCIA							
(m)		2.8	2.74	3.83	3.7	3.23	0.84

Tabla 1. Promedios anuales de los parámetros ambientales en el área norte de Bahía Magdalena, B.C.S.

		1				
TRANSECTOS	II	III	IV	Promedio	Suma	D.E.
Longitud	8.6	8.5	10.5	9.200	27.6	1.1269
Anchura del canal medido cada 2 km (Litoral-litoral) (m)	1.07	0.75	0.96	0.924	2.773	0.1615
Área total del canal medido cada 2 km (km²) de orilla a orilla	4.57	3.17	5.04	4.260	12.78	0.9728
Anchura del canal profundo medido cada 2	0.00	0.55	0.5	0.500	4 700	0.0000

0.66

2.82

1.75

0.55

2.32

0.85

0.5

2.63

2.41

Tabla 2. Dimensiones de las áreas de estudio utilizadas en los censos de ballena gris de la zona norte de Bahía Magdalena, B.C.S. México, 1983-1987 y 1996-1997



Área total utilizable para las ballenas

Diferencia del área total del canal y el área

km con 4 m de prof. (km<sup>2</sup>)

medido cada 2 km (km<sup>2</sup>)

total utilizable para ballenas (km<sup>2</sup>)

Fig. 3. Número total de ballenas y patrón de ocupación estacional en el área norte de Bahía Magdalena durante las temporadas de (1983-1987 y 1996-1997)

aumentando la abundancia conforme avanza la temporada, hasta alcanzar los máximos en febrero y empezando su declive poblacional a partir de esas fechas. Este descenso en el número de ballenas está marcado principalmente por ballenas (S) solitarias, en tanto que las hembras con sus crías (C/c) permanecen en el área hasta los finales de marzo (Fleischer 2002).

En la Tabla 5, se presentan los resultados correspondientes a las semanas de mayor abundancia de ballenas detectadas en el estero "Matancitas" de 1983 a 1987, (datos tomados de Fleischer 2002), en ella se indica el número de crías censadas y el porcentaje que representan. Es importante resaltar la temporada 1985 en donde se obtuvo un conteo máximo histórico de 544 ejemplares totales (370 adultas y 174 crías) lo que representa una producción de crías de 47 % en relación al total de ballenas registradas. Del mismo modo, en la misma Tabla 5, se agregan y complementan para su comparación los valores obtenidos en 1996-1997, que

están por debajo del promedio obtenido en la primera década de estudios.

1.706

7.77

5.01

0.0800

0.2524

0.7831

0.569

2.590

1.670

# Mortalidad

El promedio de ejemplares muertos para esos años fue de un ballenato por temporada según se reporta por separado en (Fleischer & Beddington 1985, Fleischer & Contreras 1986). En esos años no se reportaron adultas muertas.

## Áreas críticas

En cuanto a las áreas de mayor distribución las Tablas 3 y 4 nos indican el número de ballenas detectadas semanalmente por transecto, lo que nos permite analizar y entender la importancia de estas zonas y definir "áreas críticas" para su conservación. A la vez este patrón permite recomendar áreas de posible utilización para actividades de interés turístico-educativas reduciendo la alteración de la permanencia de las ballenas. Por los datos obtenidos en este trabajo encontramos que la ballena gris con cría tiende a distribuirse en los cuatro transectos estudiados del área norte de Bahía Magdalena, pero concentrándose con mayor abundancia en las primeras semanas del año en el transecto IV, que corresponde a la zona más interna del estero "Matancitas".

Este patrón de distribución interna y de ocupación, se modifica a finales de febrero, cuando esta distribución cambia, observándose que la mayor abundancia se presentó en el transecto II (área más cercana a la salida a mar abierto). Las ballenas solitarias también se encuentran localizadas en los cuatro transectos y en los años 1983-87 presentan una distribución espacio-temporal similar a la de las ballenas con cría. Para los años 1996-97, la distribución espacio-temporal es distinta, las ballenas solitarias en las diferentes semanas no mostraron preferencias para establecerse en un transecto dado.

Se realizó una prueba de análisis de variancia no
Tabla 3. Resultados de los censos en lancha por transecto en el área norte de Bahía Magdalena, B.C.S., México. 1983-1987. El esfuerzo total (ET) esta en horas y minutos. La semana con conteo máximo esta enfatizado en sombreado

		TRAN	SEC	то і	[	TRAN	SEC	CTO I	I	TRAN	ISEC	CTO I	II	TRAN	SEC	TO	IV	TOTA	LES			Esfuerzo
Año	Semana	C/Cría	S.	Cría	Total	C/Cría	S.	Cría	Total	C/Cría	ıS.	Cría	Total	C/Cría	S.	Cría	Total	C/Cría	S.	Cría	Total	(min.)
1983	Ene-02	0	0	0	0	1	3	1	5	1	2	1	4	3	3	3	9	5	8	5	18	
	Ene-03	0	0	0	0	2	2	2	6	1	3	1	5	15	15	15	45	18	20	18	56	
	Ene-04	0	0	0	0	5	8	5	18	10	11	10	31	21	23	21	65	36	42	36	114	
	Feb-01	4	5	4	13	12	17	12	41	4	4	4	12	19	20	19	58	39	46	39	124	ET 1026
	Feb-02	11	12	11	34	26	37	26	89	13	23	13	49	56	66	56	178	106	138	106	350	17.10 hr
	Feb-03	6	6	6	18	27	28	27	82	9	10	9	28	18	19	18	55	60	63	60	183	
	Feb-04	0	0	0	0	23	23	23	69	8	9	8	25	17	17	17	51	48	49	48	145	
	Mar-01	5	5	5	15	18	18	18	54	2	2	2	6	1	1	1	3	26	26	26	78	
	Mar-02	0	0	0	0	9	10	9	28	2	2	2	6	1	1	1	3	12	13	12	37	
1984	Ene-02	1	1	1	3	6	9	6	21	4	10	4	18	17	20	17	54	28	40	28	96	
	Ene-03	5	8	5	18	25	34	25	84	12	13	12	37	13	17	13	43	55	72	55	182	
	Ene-04	6	8	6	20	11	15	11	37	22	27	22	71	43	48	43	134	82	98	82	262	ET 949
	Feb-01	19	20	19	58	53	58	53	164	19	20	19	58	24	31	24	79	115	129	115	359	15.82 hr
	Feb-02	9	10	9	28	26	29	26	81	17	19	17	53	24	26	24	79	76	84	76	236	
	Feb-03	11	13	11	35	20	21	20	61	6	7	6	19	2	2	2	6	39	43	39	121	
	Feb-04	4	6	4	14	10	11	10	31	2	2	2	6	7	8	7	22	23	27	23	73	
	Mar-01	12	12	12	36	18	19	18	55	2	2	2	6	2	2	2	6	34	35	34	103	
	Mar-02	0	0	0	0	1	1	1	3	1	1	1	3	0	0	0	0	2	2	2	6	
1985	Ene-03	0	0	0	0	3	3	3	9	10	10	10	30	5	6	5	16	18	19	18	55	
	Ene-04	2	3	2	7	13	14	13	40	10	14	10	34	22	26	22	70	47	57	47	151	
	Feb-01	7	12	7	26	19	32	19	70	13	20	13	46	38	61	38	137	77	125	77	279	
	Feb-02	13	17	13	43	36	41	36	113	24	32	24	80	58	79	58	195	131	169	131	431	ET 937
	Feb-03	25	30	25	80	43	51	43	137	37	41	37	115	69	74	69	212	174	196	174	544	15.61 hr
	Feb-04	8	11	8	27	52	61	52	165	16	19	16	51	19	20	19	58	95	111	95	301	
	Mar-01	8	9	8	25	25	28	25	78	11	12	11	34	6	7	6	19	50	56	50	156	
	Mar-02	9	10	9	28	34	35	34	103	11	12	11	34	13	14	13	40	67	71	67	205	
	Mar-03	4	4	4	12	11	12	11	34	7	9	7	23	4	4	4	12	26	29	26	81	
1986	Ene-03	1	1	1	3	7	10	7	24	4	7	4	15	17	23	17	57	29	41	29	99	
	Ene-04	5	9	5	19	24	42	24	90	22	32	22	76	28	39	28	95	79	122	79	280	
	Feb-01	2	7	2	11	12	16	12	40	10	20	10	40	32	67	32	131	56	110	56	222	ET 864
	Feb-02	9	12	9	30	32	40	32	104	22	30	22	74	41	52	41	134	104	134	104	342	$14.40 \ hr$
	Feb-03	4	6	4	14	12	15	12	39	20	29	20	69	46	49	46	141	82	99	82	263	
	Feb-04	10	14	10	34	35	37	35	107	13	16	13	42	26	31	26	83	84	98	84	266	
	Mar-01	7	8	7	22	21	23	21	65	20	21	20	61	18	21	18	57	66	73	66	205	
	Mar-02	2	2	2	6	11	11	11	33	1	1	1	3	4	4	4	12	18	18	18	54	
1987	Ene-04	3	7	3	13	13	22	13	48	6	7	6	19	28	34	28	90	50	70	50	170	
	Feb-01	8	13	8	29	31	41	31	103	14	22	14	50	40	54	40	134	93	130	93	316	ET 605
	Feb-02	11	13	11	35	29	37	29	95	15	21	15	51	51	70	51	172	106	141	106	353	10.9 hr
	Feb-03	15	18	15	48	28	33	28	89	17	24	17	58	36	46	36	118	96	121	96	313	
	Feb-04	19	26	19	64	31	35	31	97	12	15	12	39	31	34	31	96	93	110	93	296	
	Mar-01	11	14	11	36	32	38	32	102	5	5	5	15	5	7	5	17	53	64	53	170	

|--|

		TRAN	SEC	сто	I	TRANS	SEC	CTO	I	TRAN	SE	CTO	III	TRAN	SEC	то і	V	TOTAI	LES			Esfuerzo
Año	Semana	C/Cría	S.	Cría	Total	C/Cría	S.	Cría	Total	C/Cría	S.	Cría	Total	C/Cría	S.	Cría	Total	C/Cría	S.	Cría	Total	(min.)
1996	Feb-01	3	3	3	9	3	8	3	14	10	5	10	25	20	16	20	56	36	32	36	104	119
	Feb-02	7	0	7	14	14	4	14	32	18	3	18	39	17	10	17	44	56	17	56	129	96
	Feb-03	0	3	0	3	12	8	12	32	12	8	12	32	23	8	23	54	47	27	47	121	129
	Feb-04	3	3	3	9	26	6	26	58	14	6	14	34	22	11	22	55	65	26	65	156	130
	Mar-01	4	3	4	11	19	2	19	40	22	2	32	56	19	2	19	40	64	9	64	137	134
	Mar-02	6	0	6	12	18	1	18	37	5	1	5	11	6	1	6	13	35	3	35	73	133
1997	Feb-01	2	5	2	9	20	10	20	50	16	9	16	41	57	12	57	126	95	36	95	226	141
	Feb-02	13	6	13	32	16	7	16	39	15	8	15	38	31	15	31	77	75	36	75	186	100
	Feb-03	No dat	os																			
	Feb-04	8	3	8	19	25	9	25	59	15	4	15	34	22	4	22	48	70	20	70	160	127
	Mar-01	14	5	14	33	5	6	5	16	10	4	10	24	17	8	17	42	46	23	46	115	108

Tabla 5. Conteos máximos comparativos en el área norte de Bahía Magdalena (1983-1987 Y 1996-1997). Máximo histórico en 1985\*

	TOTAL	TOTAL	TOTAL	%
AÑO	ADULTAS	CRIAS	BALLENAS	CRIAS
1983	244	106	350	43.44
1984	244	115	359	47.13
1985*	370	174	544	47.03
1986	238	104	342	43.70
1987	247	106	343	42.91
Var=	2579.04	716	6152.24	3.40
Prom.=	268	121	387	44.84
Desv. est.=	56.77	29.93	78.43	1.84
1996	91	65	156	41.66
1997	131	95	226	42.03
Var.=	400	225	1225	0.034
Prom.=	111	80	191	41.85
Desv. Est.=	20	15	35	0.18

paramétrica de Kruskal-Wallis, para observar si la abundancia de las ballenas grises con cría era igual o diferente en los años de muestreo, encontrándose que hay diferencias significativas (H = 19.707 p < 0.05). También se realizó la prueba de análisis de variancia no paramétrica con las ballenas grises solitarias, encontrando que hay diferencia significativas, entre los años de 1983-87 y 1996-97 (H = 52.56 p < 0.05). La mayor abundancia de ballenas adultas se obtuvo en los años 1983-87.

Para un mayor diagnóstico, se realizó un análisis de cluster (Fig. 4) con las ballenas c/cría y las ballenas solitarias. El análisis de cluster nos indica que la población de ballenas c/cría en los años con evento El Niño, tuvo un comportamiento diferente con relación a los años sin la presencia de este fenómeno. El análisis de cluster realizado con las ballenas solitarias, expresa una clara separación entre las dos series de tiempo (1983-87 y 1996-97), así también, aquí se observa que el comportamiento de la población de las ballenas solitarias es similar en los años con evento El Niño (1983, 1987, 1997) a diferencia de los años sin la presencia de este evento. Esto plantea una nueva hipótesis para trabajos posteriores sobre el efecto del fenómeno en la distribución de la especie en la zona de Bahía Magdalena.



Fig. 4. Análisis de cluster de la abundancia de Ballenas c/cría en los diferentes años de estudio

En el análisis de Kruskal-Wallis para determinar el patrón de distribución espacio-temporal de las ballenas con cría en los diferentes transectos, encontramos que no hay diferencia significativa entre los transectos 2 y 4 (H = 0.2623 p > 0.05). Al principio del arribo, se observa que los transectos I, II y III son transectos de transito porque las ballenas tienden a dirigirse al transecto IV. A finales de la temporada las ballenas c/cría se trasladan y establecen en mayor abundancia en el transecto II y una menor cantidad en el transecto I, esperando el momento apropiado para iniciar su recorrido a las aguas del norte. En el transecto III suelen observarse ballenas c/cría en transito a lo largo de este.

En relación a las ballenas solitarias, observamos que su distribución espacio-temporal en los cuatro transectos es similar a la distribución de las ballenas con cría en los años de 1983-87 no observándose diferencia significativa entre los transectos 2 y 4 (H = 0.00008 p > 0.05). En los años 1996-97 la distribución espacio-temporal en cada uno de los transectos fue diferente (H = 9.116 p < 0.05).

#### DISCUSIÓN

En la mayoría de las ballenas la migración al sur en busca de agua templada o subtropical es típica y se presume que es una ventaja adaptativa que ayuda tanto a los adultos, como a los ballenatos recién nacidos a conservar la temperatura del cuerpo y sobrevivir en mejores condiciones durante la temporada invernal (Gardner & Chávez-Rosales 2000). En la ballena gris este fenómeno ha sido estudiado a lo largo de su ruta migratoria por el Pacífico norte y durante su permanencia en aguas de México (Rice et al. 1986, Mitchell & Ware 1989, Fleischer 1990, Jones 1990, Forney & Barlow 1998).

#### Patrones de abundancia, distribución y ocupación

En área norte de Bahía Magdalena los patrones de abundancia, ocupación y distribución de las ballenas grises se inician con el arribo a principios o mediados de enero con pocos individuos incrementándose la población con el paso de los días, hasta lograr un máximo poblacional en los inicios o mediados del mes de febrero y una disminución gradual de hembras con sus crías que permanecen hasta los mediados o finales de marzo.

Este patrón de ocupación y las fechas de arribo de la ballena gris en el estero "Matancitas", es similar al que se mantiene en los otros sitios de permanencia invernal de la ballena gris en Baja California Sur. Típicamente las ballenas solitarias son las primeras en retirarse, en tanto que las hembras con cría, permanecen hasta el término de la estación reproductiva. (Fleischer 1979, 1980, 2002, Swartz & Jones 1979, 1980, 1981, Rice et al. 1981, Fleischer & Contreras 1983, Bryant et al. 1984, Fleischer et al. 1984, Jones & Swartz 1984, Fleischer & Beddington 1985, Fleischer & Contreras 1986, Aguirre 1988, Sánchez 1991, Urbán et al. 2003). Esto debe considerarse al elaborar las recomendaciones de manejo de éstas zonas, cuidando el bienestar de las ballenas con crías, ya que son las que permanecen por mayor tiempo en el área.

Los resultados de los censos en lanchas realizados en el área norte de Bahía Magdalena durante las temporadas invernales de 1983 a 1987, complementados con los datos inéditos obtenidos en las temporadas 1996 y 1997 presentados aquí, indican que la abundancia de ballenas adultas registradas en el segundo periodo (promedio = 111) fue inferior al promedio 268 de los valores correspondientes al primer periodo de estudio. Sin embargo, la producción de crías para el período de 1983-1987 representó el 44.8% de las ballenas totales adultas observadas en la zona de estudio. Para los años (1996-97), una década después, se obtuvo un valor muy similar del 41.8%, existiendo una diferencia mínima.

Al comparar los promedios de ambas muestras se utilizó una prueba de t (Prueba t 0.05 (2) 5 = 2.571; p = 0.245), que no rechaza la hipótesis de que los promedios de crías producidas durante estos dos períodos sean iguales. Este resultado indica que aunque se presentan variaciones anuales menores en torno a los promedios totales de abundancia, con años ligeramente por arriba y por abajo del valor promedio, ha existido por lo general una estabilidad en la producción de crías en este cuerpo de agua, lo que es reflejo de la estabilidad poblacional que la especie ha alcanzado en estos años. Sin embargo, cuando comparamos los conteos máximos de ballenas solitarias en los periodos de 1983-87 y 1996-97 observamos que hubo un notable decremento en la abundancia en el último periodo. De igual forma, en las ballenas c/cría, existe una disminución de la abundancia pero esta no es tan apreciable o significativa como en el otro componente poblacional. Lo anterior sugiere investigar las posibles causas y entre ellas, los efectos potenciales del fenómeno "El Niño".

#### Efectos potenciales del fenómeno "El Niño" en los patrones observados de abundancia y distribución de las ballenas grises en México

El fenómeno de El Niño es un factor que pudo haber

actuado en esta disminución observada en la abundancia en estos dos periodos estudiados, ya que se presentaron los eventos de El Niño de 1982-83 y el de 1997-98 que son considerados como fuertes y extraordinarios, también en el tiempo del estudio se presentó el evento El Niño de 1987-88, que fue catalogado como moderado (Lucero & Tufino 2004, Lluch-Belda et al. 2005, Le Boeuf et al. 2000). Observamos que los promedios en las abundancias de ballenas obtenidos en el periodo de 1983-1987 fueron más bajos cuando se presentaron los eventos en 1982-83 y 1987-88. En el periodo de 1996-1997 (inicio del evento El Niño 97-98), los promedios de las abundancias de ballenas solitarias y ballenas con cría fueron también mínimos, reflejándose más en la abundancia de las ballenas solitarias en el estero (Gardner & Chávez-Rosales 2000).

Se cuenta con antecedentes de observaciones cuando se presenta el evento de El Niño, donde se menciona en general una marcada ausencia de ballenas y marsopas, aunados a cambios en la abundancia de otros organismos marinos (Forrester 1997, Lucero & Tufiño 2004, Lluch-Belda et al. 2005). Para la ballena gris Gardner & Chávez-Rosales (2000), encuentran una clara, aunque limitada relación inversa entre la temperatura y la presencia de ballenas en la zona de Bahía Magdalena durante los años 1997 al 1999. Urbán (2000) reporta en su estudio en la laguna San Ignacio gue la abundancia en 1996-1997 disminuyó un 49%, decreciendo principalmente en la presencia de organismos solitarios, situación que se mantuvo hasta el 2000. Nuestros datos indican que en las temporadas donde el evento de El Niño estuvo presente, hubo una disminución en la abundancia de las ballenas solitarias dentro de la zona norte de Bahía Magdalena.

Aunque nuestros estudios aportan bases para varias hipótesis sobre el efecto potencial del fenómeno "El niño", sobre la distribución de las ballenas adultas en el límite sur de su distribución invernal en México, es necesario tener mayores elementos para poder concluir al respecto. Por ello, se recomienda realizar estudios demográficos en otros sitios de invernación de este cetáceo en aguas de México.

#### Mortalidad

Eventos como El Niño y La Niña afectan la productividad primaria de las zonas influenciadas, lo que provoca cambios en la cantidad de alimento disponible y por tanto, una alteración general de las cadenas alimenticias en el mar, lo que podría incidir directamente sobre la tasa de mortalidad a lo largo de su recorrido (Le Boeuf et al. 2000). Sin embargo, considerando los bajos valores de mortalidad natural registrados durante los años de nuestro estudio, se considera que la mortalidad fue inexistente en el caso de los adultos. En tanto que la mortalidad relativa en el caso de las crías para los dos periodos del estudio fue 0.82% crías/periodo en 1983-87 y 1.25 crías/periodo para los años 1996-97, lo que nos permite inferir que este factor demográfico fue despreciable en la dinámica poblacional de la especie durante los años del estudio en esta zona. En cambio, Jones & Swartz 1984 y Sánchez 1998 en estudios realizados en Laguna Ojo de Liebre, Guerrero Negro y San Ignacio obtuvieron casos de mortalidad alta de crías y escasa o rara mortalidad de ballenas adultas para los mismos años. Esto nos permite suponer que Bahía Magdalena tiene un alto valor estratégico para la ballena gris, ya que en esta zona se ubican las zonas reproductoras y de crianza que han tenido la más baja variabilidad, y un aparente éxito reproductivo.

#### Áreas críticas

En cuanto a las áreas críticas o zonas de mayor abundancia y ocupación estacional, encontramos que la ballena gris en el área Norte de Bahía Magdalena se distribuye en los cuatro transectos estudiados, pero existe una mayor concentración de madres con cría, durante las primeras semanas de la estación invernal en el transecto IV, que corresponde a la zona más interna del estero "Matancitas", lo que posiblemente este relacionado con que esta área les proporciona una mayor protección y tranquilidad para la procreación de sus crías.

A finales de febrero, después del pico máximo de abundancia, cambia esta distribución interna, teniéndose mayor concentración en el transecto II (área más cercana a la salida a mar abierto). Esto podría indicar que están preparándose para lo que será el inicio de su migración con sus crías hacia aguas del Ártico. Jones & Swartz (1984) encontraron un patrón de distribución en la Laguna San Ignacio donde establecen que en general hay una mayor utilización de la zona inferior (área cercana a la salida a mar abierto) por parte de las ballenas solitarias, sobre todo al inicio de la temporada, mientras que las hembras con cría están segregadas a las zonas superiores de la misma (media y superior: zona más interna de la laguna), al final de la temporada observaron madres con cría presentándose con mayor frecuencia en las zonas inferiores, en espera de iniciar su migración. Este comportamiento concuerda con lo observado por Urbán (2000) para los años 1996-1997, en la laguna San Ignacio.

Considerando lo anterior, se recomienda que las actividades turístico-educativas que involucren el avistamiento de las ballenas grises en esta importante zona de Bahía Magdalena, consideren estos cambios estaciónales de los patrones de ocupación en el estero y que el número de visitantes y lanchas se adecue a estas realidades biológicas de una manera dinámica para evitar posibles efectos al componente reproductor de la especie y en especial a sus crías, que representan la fase más vulnerable de su ciclo de vida.

El aumento en la actividad humana es considerado como uno de los principales factores que afectan el hábitat de ballena gris a lo largo de toda su ruta migratoria (Reeves & Mitchel 1987, Dedina & Young 1995, Bringas & Ojeda 2000, Urbán 2000) y de un modo más crítico, en sus áreas de reproducción y crianza en México. Por ello, el PNICMM-INP desarrolló estudios sistemáticos sobre

el impacto potencial de estas actividades en las ballenas. En 1995 y 1996 se hicieron los primeros estudios de este tipo en México en la Laguna San Ignacio y en 1997, en el estero "Matancitas" (Fleischer 1996, Loreto et al. 1996, Fleischer et al. 1997). Así mismo, otros autores como Sánchez (1997) y Mosig (1998), han realizado estudios sobre el impacto del ecoturismo en el comportamiento de la ballena gris en San Ignacio y Bahía Magdalena, observando la influencia de las actividades turísticas en los patrones conductuales de la especie en esta misma zona. Sobre esto es importante resaltar que en el estero Matancitas, es dónde ha crecido más el esfuerzo de observación turística, desde menos de una docena en la década de los 90, hasta alcanzar en años recientes, el medio centenar de permisos otorgados, siendo este superior al de cualquier otro sitio en Baja California Sur (INP-CNP 2004). En 1994 Dedina & Young (1995) vislumbraron que en Puerto López Mateos el número de permisos que se otorgaron para la observación de ballenas fueron 13, pero en realidad el número de lanchas en operación al mismo tiempo fueron 58. Considerando que esta es un área de mucho menor tamaño y esta formanda por un solo canal casi recto, nos hace suponer, que ha existido una saturación de embarcaciones durante la estación invernal que puede estar afectando a este recurso ecoturístico. Desafortunadamente aún no se conocen los efectos que el ecoturismo pueda tener sobre la ballena gris (Dedina & Young 1995, Bringas & Ojeda 2000, Urbán 2000). Sin embargo, la tendencia creciente de lanchas para observar a las ballenas en los complejos lagunares de Baja California puede representar un factor nocivo sobre la abundancia y puede causar un fuerte impacto en la ocupación y establecimiento de la ballena gris dentro de las lagunas.

#### CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos en este estudio nos permiten observar y comprender mejor algunos de los aspectos poblacionales de las ballenas grises que visitan durante el invierno la zona Norte del complejo Bahía Magdalena, B.C.S., México. Se corrobora que el estero Matancitas es una importante zona de procreación y cuidado de crías de la ballena gris. Encontrando también que en años con anómalamente cálidos (El Niño), su patrón de utilización, u ocupación del estero y establecimiento se ve modificado. Estos resultados también permiten sustentar de manera más eficiente las recomendaciones técnicas relacionadas con la conservación y el ordenamiento de ciertas áreas críticas y con las actividades humanas en esa zona, como son las visitas turísticas desde embarcaciones. Se establece que es necesario redefinir un número máximo de lanchas en la zona de avistamiento para no alterar el comportamiento de las ballenas, y el esfuerzo de avistamiento que debe aplicarse durante la temporada en las diferentes secciones que conforman este estero, con el fin de evitar que se genere un mayor disturbio hacia las parejas de madres con crías. Este esfuerzo de investigación complementa los resultados obtenidos independientemente por el PNICMM-INP, en otras lagunas de procreación de la ballena gris en aguas de México, coadyuvando así al conocimiento de los patrones de abundancia, ocupación y distribución de estos cetáceos en Baja California Sur.

Agradecimientos. De manera muy especial a los miembros de la entonces denominada Roca Fosfórica de México (ROFOMEX) quienes nos permitieron con su invaluable apoyo y amistad iniciar y continuar los estudios en esa región en los años 80's. Así como, a la Cooperativa de Servicios Turísticos "AQÜENDI", del Puerto Adolfo López Mateos, quienes de forma oportuna y entusiasta han brindado el apoyo logístico necesario para la continuación de estas investigaciones en los últimos años que aquí se reportan.

#### LITERATURA CITADA

- Aguirre J (1988) Estudio poblacional de la ballena gris (*Eschrichtius robustus*) en la laguna Guerrero Negro, B.C.S., México y sus implicaciones turísticas. Tesis de Licenciatura ENEP Iztacala
- Álvarez-Borrego SA, Galindo L, Chee A (1976) Características hidroquímicas de Bahía Magdalena BCS Cienc Mar 2:94-109
- Bryant PJ, Lafferty C, Lafferty S (1984) Reocupation of laguna Guerrero Negro, Baja California, México, by gray whales. En: M.L. Jones, S Swartz and S. Leatherwood (eds.) The Gray Whale. Academic press London, p 375-387
- Bringas NL, Ojeda L (2000) El ecoturismo ¿Una nueva modalidad del turismo en masas? Economía Sociedad y Territorio 7:373-403
- Cervantes F, Aguirre J, Fleischer L (1983) Censos de ballena gris (*Eschrichtius robustus*) en la laguna de Guerrero Negro, B.C.S., México. Resumen en VIII Reunión Internacional para el Estudio de los Mamíferos Marinos
- Contreras F (1985) Las lagunas costeras mexicanas Centro de Ecodesarrollo. Secretaría de Pesca México DF
- Chávez S (2006) El papel de los manglares en la producción de las comunidades acuáticas de Bahía Magdalena, B.C.S. Tesis de Doctorado. Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas, La Paz, BCS, México
- Dedina S, Young E (1995) Conservation and development in the gray whale lagoon of Baja California Sur, Mexico. Final report to the US Marine Mammals Comission. Contract T1015592. http://scilib.ucsd.edu/sio/guide/z-serge.html
- Fleischer L (1978) Methods of population estimation of breeding California Gray Whales in Baja California, Mexico. Research Proposal for a Ph.D. dissertation presented to the College of Fisheries, University of Washington Sea-ttle
- Fleischer L (1979) Preliminary report on the California gray whale in Ojo de Liebre Lagoon, B.C.S., Mexico. Report to the College of Fisheries, University of Washington Seattle
- Fleischer L (1980) Aerial surveys of California Gray Whales in laguna Ojo de Liebre BCS México (1980) Paper SC/33/Ps 18 IWC Scientific Committee
- Fleischer L (1981) Censos en helicóptero de ballenas grises en Bahía Magdalena. Memoria de la Reunión de Actividades relacionada con la Oceanografía. Comisión Nacional de Investigación Oceanográfica. Secretaría de Marina México:59-62
- Fleischer L (1990) Aerial surveys of gray whales (Eschrichtius robustus) in mexican waters (1980-1990). SC/A90/G29 IWC

Scientific Committee.Assessment of the gray whale. April 23-27, Seattle, Wash

- Fleischer L (2002) La ballena gris: Mexicana por nacimiento. Serie "La ciencia para todos" Fondo de cultura económica México
- Fleischer L, Cervantes F (1982) Manual de procedimientos de campo del programa nacional de investigación de la ballena gris de México. Secretaría de Pesca, México.
- Fleischer L, Contreras J (1983) Censos de ballenas grises (Eschrichtius robustus) en la región norte de Bahía Magdalena, B.C.S. México. Resumen en la VII Reunión Internacional para el Estudio de los Mamíferos Marinos marzo 1983
- Fleischer L, Contreras J, Michel E (1984) La Ballena Gris de México (*Eschrichtius robustus*) en la región norte de Bahía Magdalena, B.C.S. México. Memorias de la XI Reunión Internacional para el Estudio de los Mamíferos Marinos La Paz BCS México
- Fleischer L, Beddington J (1985) Seasonal abundance, reproduction and early mortality rates of gray whales (*Eschrichtius robustus*) in Mexican waters (1980-1985) Intern Whal Comm SC/37/PS22
- Fleischer L, Contreras J (1986) Censos de ballenas grises (*Eschrichtius robustus*) en la región norte de Bahía Magdalena BCS México Cienc Pesq 5:51-62.
- Fleischer L (1996) Actividades turístico–educativas con la ballena gris (*Eschrichtius robustus*) en la península de Baja California Sur, México. Reunión de trabajo con las Comisiones de Turismo, Ecología y Pesca de la Cámara de Diputados, celebrada en Pto. San Carlos BCS, México
- Fleischer L, Zárate A, Michel E, Moncada R, Álvarez A, Ramírez J (1996) Análisis cuantitativo del desempeño de la flota turístico –educativa en el área norte de Bahía Magdalena, B.C.S. y su relación con el comportamiento de la ballena gris (*Eschichtius robustus*). Resumen en XXII Reunión Internacional para el Estudio de los mamíferos marinos, Nuevo Vallarta, Nayarit, México
- Forney KA, Barlow J (1998) Seasonal patterns in the abundance and distribution of California cetaceans, 1991-1992. Marine Mammals Science 14:460-489
- Forrester AL (1997) The effects of El Niño on marine life. Pro Quest CSA Cambridge Scientific Abstracts Web site. http:// www.csa.com/discoveryguides/archives/elnino.php
- García (1964) Modificaciones al sistema de clasificación climática de Koppen (para adaptarlo a las condiciones de la República Mexicana) Inst Geogr UNAM México
- Gardner SC, Chávez-Rosales (2000) Changes in the relative abundance and distribution of gray whales (*Eschrichtius robustus*) in Magdalena Bay, Mexico during an El Niño event Mar Mammals Sci 4:728-738
- Henderson D (1984) Nineteenth century gray whaling: grounds, catches and kills, practices and depletion of the whale population. En: Jones ML, Swartz S, and Leatherwood S (eds) The gray whale Academic Press London, p 159-186
- Jones ML (1990) The reproductive cycle in gray whales based on photographic resightings of females on the breeding grounds from 1977-82. Pegas. En: Hammond PS, Mizroch SA, Donovan GP (eds). Individual recognition of cetaceans: Use of Photo-identification and other techniques to estimate population parameters. Report of the International Whaling Commission (Special Issue) 12, p 177-182
- Jones ML, Swartz S (1984) Demography and phenology of gray whales and evaluation of whale watching activities in La-

guna San Ignacio Baja California Sur México. En: Jones ML, Swartz S, Leatherwoods S (eds) The gray whale Academic Press London, p 309-374

- Le Boeuf BJ, Pérez-Cortés H, Urbán J, Mate BR, Ollervides F (2000) High gray whale mortality and low recruitment in 1999: Potential causes and implications J Cetacean Res Manage 2:85-99
- López A, Fleischer L, Michel E (1987) Patrones de distribución y resultados de fotoidentificación de ballena gris (*Eschrichtius robustus*) en el área norte de Bahía Magdalena, B.C.S., México. (1983-1987). XII Reunión Internacional para el Estudio de los Mamíferos Marinos en México La Paz BCS México
- Loreto P, Fleischer L, Maravilla O (1996) Actividades turísticoeducativas en dos zonas de refugio de la ballena gris *Eschichtius robustus*, (Llilljeborg, 1861) en Baja California Sur México durante la temporada 1991. Biol Pesq CRIP-La Paz 2:15-29
- Lucero M, Tufiño P (2004) El fenómeno de El Niño. GAIA 1:1-9
- Lluch-Belda D, Lluch-Cota D, Lluch-Cota S (2005) Changes in marine faunal distributions and ENSO events in the California Currents. Fish Oceanogr 6: 458-467.
- Mosig RP (1998) Efectos del turismo en la abundancia y comportamiento de la ballena gris, *Eschrictius robustus*, en Laguna San Ignacio, BCS, México. Tesis de Licenciatura, Universidad Nacional Autónoma de México
- Mitchel T, Ware RR (1989) Gray whale monitoring study. Occasional reports of the United States Minerals Management Service 8810075
- Norris K, Gentry R (1974) Capture and harnessing of young California gray whales (*Eschrichtius robustus*) Mar Fish Rev 4:58-64
- Reeves RR, Mitchell E (1988) Current status of the gray whale Eschrichtius robustus. Can Field-Nat 2:369-90
- Rice D, Wolman A, Withrow DD (1986) Distribution and numbers of gray whales on their Baja California winter grounds. En: Jones ML, Swartz SL, Leatherwood S (eds). The gray whale (*Eschrichtius robustus*). Academic Press, INC. New York, p 1-37
- Rice D, Wolman A, Withrow D, Fleischer L (1981)Gray Whales on their winter grounds in Baja California. Rep In Whal Commn 31:477-493
- ROFOMEX (1983) Resumen de resultados, Comentarios y Preguntas al Estudio de Impacto Ambiental de la Unidad Santo Domingo BCS Rofomex SA de CV, Puerto Adolfo López Mateos BCS (Eco-ingeniería, Reporte de Distribución limitada)
- Sánchez JA (1997) Descripción y desarrollo de las actividades turísticas de observación de ballena gris en las lagunas de la Reserva de la Biosfera 'El Vizcaino' y Bahía Magdalena, Baja California Sur, México, temporadas 1996 y 1997 Biol Pesq CRIP-La Paz 7:1-7
- Sánchez JA (1998) Gray whale mortality at Ojo de Liebre and Guerrero Negro lagoons, Baja California Sur, Mexico:1984-1995 Mar Mammals Sci 1:149-155
- Swartz S, Jones M (1979) The evaluation of human activities on gray whales (*Eschrichtius robustus*) in laguna San Ignacio Baja California México. US NTIS PB Rep PB-289737:1-42
- Urban J (2000) Ecología y genética poblacional de la ballena gris *Eschrichtius robustus*, en la península de Baja California. Proyecto L229 Ecología y genética poblacional de la ballena gris CONABIO UABCS

Fleischer LA, Michel–Guerrero E, Zárate–Villafranco A, Álvarez–Andrade A (2007) Variabilidad interanual (1983-87) y (1996-97) de la ballena gris (*Eschrichtius robustus*) en la zona norte de Bahía Magdalena. En: Funes-Rodríguez R, Gómez-Gutiérrez J, Palomares-García R (eds) Estudios ecológicos en Bahía Magdalena. CICIMAR-IPN, La Paz, Baja California Sur, México, p 251-262

# Repertorio acústico de la ballena gris (*Eschrichtius robustus*) en Bahía Magdalena

Francisco Ollervides<sup>1,\*</sup>, Sarah Rohrkasse<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Waterkeeper Alliance, 50 S. Buckhout Ste. 302, Irvington, NY 10533 <sup>2</sup> Dept. Wildlife and Fisheries Sciences, College Station Texas, A&M University, TX 77843

RESUMEN: A través de microfonos hidroacústicos, se determinó el repertorio de vocalización de la ballena gris Eschrichtius robustus en Bahía Magdalena de enero a mayo (1997-2000). Se estudió el posible impacto del ruido de embarcaciones en estas señales bioacústicas a partir de aproximadamente 2884 minutos de grabaciones. El ruido ambiental en Bahía Magdalena varió principalmente en función del tráfico marítimo. Las señales registradas en el repertorio acústico de las ballenas grises cambiaron en respuesta a los niveles del ruido ambiental. Se identificaron y clasificaron once tipos de señales (CBM01-CBM11), de las cuales cinco señales (CBM 7–11) son repertorios acústicos distintos a previos estudios. Las características específicas en cada señal (frecuencia predominante, ancho de banda, duración, y frecuencias máximas y mínimas) se contrastaron en presencia y ausencia de embarcaciones y ruido asociado a estas. Aunque la respuesta acústica de las ballenas varió según la localizacion de los grupos en el complejo lagunar, tambien se observaron cambios en respuesta acústica según el tamaño y la composición del grupo. A corto plazo, los efectos del tráfico de embarcaciones parecen afectar negativamente la reproducción (apareamiento y crianza) de estos organismos. Se recomienda implementar un programa de estudio que registren los posibles efectos acumulativos del creciente tráfico marítimo en Bahía Magdalena para su regulación en beneficio de la población que migra anualmente a este complejo laqunar y la actividad de ecoturismo local que depende de esta especie. Este estudio deberá incluir a la poblacion local de capitanes y operadores de embarcaciones de obsevacion de las ballenas, para lograr un compromiso por parte de los prestadores de servicio ecoturisticos en la conservación y sustentabilidad de sus propios recursos naturales.

PALABRAS CLAVE: Ballena gris · *Eschrichtius robustus* · Bioacústica · Repertorio acústico · Tráfico marítimo · Conservación

ABSTRACT: The acoustic repertoire of the gray whale, *Eschrichtius robustus* was recorded using hydro acoustic microphones in Bahía Magdalena between January and May (1997–2000). We studied the possible impact of boat noise in these bioacoustic signals analyzing 2,884 minutes of recordings. The environmental noise in Bahía Magdalena varied according to marine traffic. The signals registered in the acoustic repertoire of the gray whales changed in response to the environmental noise levels. Eleven types of signals were identified and classified (CBM01-CBM11), which five of them (CBM07-11) are distinct acoustic repertoire not recorded in previous studies. The specific characteristics in each signal (central frequency, bandwidth, duration, and maximum and minimum frequencies) were compared in presence and absence of boats and noise associated to these. Acoustic response variability in characteristics of calls among the whales varied according to location of the groups within in the complex lagoon. We also observed changes in acoustic response according to size and composition of the group, the short term effects of the traffic of boats seem to negatively affect the reproduction (mating and courtship) of these organisms. It is recommended to implement a training and research program to monitor the possible cumulative effects of the increasing marine traffic in Bahía Magdalena. The regulations must benefit of the gray whale population that annually migrates into this lagoon complex and the ecotouristic activities that this species may support. This future study must include the local population of watching boat captains, to ensure the commitment on the part of the ecotourism service providers in the conservation and sustainability of their own natural resources.

KEYWORDS: Gray whale  $\cdot$  *Eschrichtius robustus*  $\cdot$  Bioacoustic  $\cdot$  Acoustic repertoire  $\cdot$  Marine traffic  $\cdot$  Conservation

#### INTRODUCCIÓN

La familia Eschrichtiidae dentro del Orden Misticeti es monoespecifica incluyendo solamente a la ballena gris, Eschrichtius robustus (Lilljeborg 1861). En el Océano Pacífico se han distinguido dos poblaciones distintas de ballenas grises; la población del Océano Pacífico oriental (distribuida desde las aguas de Siberia hasta las costas de Corea y Japón) y la población del Océano Pacífico occidental (distribuida desde los mares de Chukchi, Bering, y Beaufort a las costas de la Península de Baja California en México) (Le Duc et al. 2000), extendiendo su distribución sureña al sur del Golfo de California durante años fríos durante eventos de La Niña. Existe evidencia que la población occidental esta comprendida por cerca de 200 individuos y su recuperación a niveles previos a la caza por humanos parece ser inprobable (Le Duc et al. 2000). Los cálculos de abundancia de ballena gris de la población oriental entre 1997-1998, a partir de censos costeros a lo largo del estado de California, EUA, estimaron un tamaño poblacional de aproximadamente 26600 ballenas (Rugh et al. 1999). Esta población ha mostrado una excepcional recuperación de una situación de cuello de botella que expuso a la población a una situación en riezgo de extinción debido a la cacería que fue sujeta esta especie en el pasado, hasta niveles cercanos a su densidad poblacional con una población que fluctúa entre 20000 y 24000 ballenas grises (Urbán et al. 2003). Desconocemos el tamaño poblacional exacto a que se disminuyo la población, pero Swartz y Jones (1984) se refieren a extinción económica, donde ya no era económicamente redituables los viajes para buscarlas y cazarlas por sus números tan reducidos (<5000). Es muy probable que las actuales actividades humanas a lo largo de su ruta migratoria latitudinal (exploraciones sísmicas, actividades industriales como salitrales, extracción petrolera, tráfico marítimo comercial y recreativo, contaminación, prácticas militares, ecoturismo de observación de ballenas y desarrollo costero), tengan efectos negativos crecientes en la población de ballena gris a lo largo de su ruta migratoria latitudinal. Estas actividades están en pleno desarrollo y con perspectiva de incremento en las décadas futuras en Canada, Estados Unidos y México. A pesar de que algunas publicaciones científicas atribuyen las altas mortalidades de 1999 y 2000 a un efecto retardado del fenómeno meteorológicooceanográfico de El Niño (1997/98) y/o que la población posiblemente alcanzó niveles próximos a su capacidad de carga (Le Boeuf et al. 1999), debemos contemplar la posibilidad de que el incremento de perturbaciones en el medio podría estar afectando el tamaño poblacional de ballena gris en la población del Pacífico Nororiental.

La ballena gris migra anualmente a lo largo de la plataforma continental de la costa occidental de Norteamérica (Jones & Swartz 1984). Se ha propuesto que esta distribución próxima a la costa expone a las ballenas grises a ser más vulnerables a las actividades humanas antes mencionadas que especies con distribución relativamente más oceánicas como por ejemplo la ballena azul *Balaenoptera musculus*, siendo particularmente vulnerable su situación en habitats críticos como las zonas de alimentación, reproducción y crianza (Crane 1992).

Las amenazas humanas son relativamente insignificantes en el Complejo Lagunar Ojo de Liebre y Laguna San Ignacio debido a que ambos cuerpos lagunares son parte de la reserva de la biosfera del Vizcaíno donde la pesca y actividades económicas son hasta ahora relativamente reducidas. En contraste, el tráfico marítimo en Bahía Magdalena tiene comparativamente mayor tráfico marítimo de pangas de pesca y de observación de ballenas (ecoturismo), barcos de diesel medianos para pescar, y un buque de petróleo que transporta mensualmente gasoleo a la planta termoeléctrica en Puerto de San Carlos. Virtualmente casi todos los tipos barcos visitan Puerto San Carlos a lo largo del año puesto que es el único puerto de altura entre Ensenada y Cabo San Lucas. El Complejo Lagunar Bahía Magdalena – Bahía Almejas (BM-BA) es la única zona de crianza de ballena gris en la península de Baja California que no cuenta con ningún tipo de protección con carácter de Área Natural Protegida (ANP). Aun así, cuenta con áreas restringidas designadas para la observación de ballenas grises que incluyen la zona de canales de mangle alrededor de Curva del Diablo, la totalidad de Bahía Almejas y el lado Este de la entrada de La Bocana (paralelo a Isla Margarita) en Bahía Magdalena (NOM-131-ECOL-1998). Estas áreas son donde se concentran la mayor parte de la población de ballenas grises que entran al complejo lagunar BM-BA y donde ocurre la mayor parte de los nacimientos de ballenatos (Peréz-Cortés et al. 2004). Sin embargo, observaciones de nuestro grupo de investigación realizadas entre 1997 a 2000 en este estudio, indican que las zonas de restricción usualmente no son respetadas. Si las reglamentaciones oficiales fueran acatadas más estrictamente, estos hábitats críticos proporcionarían sitios alternativos para que las ballenas pudieran tener menor acoso en las áreas con alta actividad socio-económicas de origen antropogénico. Por ello, surge la urgente necesidad de investigación y evaluación de las actividades de observación de ballena gris que puedan afectar la utilización de hábitats críticos y la supervivencia de estos organismos durante su visita a esta región durante finales del invierno y principios de la primavera anualmente.

#### La bioacústica de ballena gris en Bahía Magdalena

Además de variar el nivel de protección legal de las ballenas grises a lo largo de su ruta de migración latitudinal a través de 3 países, cada complejo lagunar difiere en su batimetría y geomorfología y, subsecuentemente, probablemente en las características de transmisión acústica. Las perturbaciones humanas y los impactos asociados por ruido ocasionado por actividades humanas en estas lagunas costeras son también variables en términos de frecuencia e intensidad acústica. Por lo tanto, los niveles del ruido ambiental, los patrones de ámbito hogareño en estas áreas por las ballenas, la abundancia relativa poblacional y las respuestas conductuales de las ballenas a las diversas actividades humanas pueden ser distintas en cada complejo lagunar (Gardner & Chávez– Rosales 2000, Norris et al. 1983, Ollervides 1997). La información sobre los efectos del tráfico marítimo en la población de ballenas grises y su respuesta conductual sigue siendo un proceso relativamente poco estudiado y comprendido.

#### El significado biológico del sonido en la ballena gris

Los ambientes marinos ponen de manifiesto la relevancia de la comunicación sonora en los mamíferos marinos; el agua no permite una visibilidad mayor a unas decenas de metros, siendo particularmente reducida en zonas costeras altamente productivas o con alta concentración de materia orgánica e inorgánica. Sin embargo, el sonido se propaga de manera rápida y usualmente a mayor distancia. La mayoría de los misticetos realizan vocalizaciones como principal medio de comunicación y dependen de las señales bioacústicas para la identificación de individuos inter- o intraespecífica, además de vigilancia y advertencia ante la presencia de depredadores y la coordinación de actividades entre congéneres (Reeves 1977). Por lo tanto, las funciones de las señales de comunicación pueden ser de crucial relevancia en la supervivencia y la salud general de la especie y éstas deben ser audibles sobre los niveles del ruido ambiental que prevalece en su hábitat. Dahlheim (1987) sugirió que las señales de las ballenas grises ocupan lugares acústicos específicos relacionados con las frecuencias del ruido ambiental de las lagunas de la península de Baja California. Estos ajustes son resultado de un proceso evolutivo gradual en comparación con la drástica y creciente aparición de la contaminación acústica de origen antropogénico que ha posiblemente perturbado esta relevante adaptación evolutiva de Eschrichtius robustus.

La naturaleza dinámica del ruido ambiental requiere de un comportamiento de adaptabilidad y flexibilidad para obtener información de sus congéneres y el ambiente a través de contrarrestar los efectos potenciales del ruido existente. Las ballenas grises y jorobadas llegan a alterar la duración de sus señales, acentúan frecuencias acústicas específicas, varían el ancho de banda y el número de señales, así como de modular la frecuencia de sus señales para aumentar la relación señal/ruido y así reducir el efecto de traslape con las señales de ruido ambiental (Norris 1995). Se ha mencionado que los cantos de la ballena jorobada aumentan en duración hasta 2 h, en respuesta a una perturbación ambiental (Fristrup et al. 2003). El registro de estos cambios conductuales de vocalización puede ser una herramienta útil para determinar si el ruido antropocéntrico está perturbando a estos animales y en qué niveles de ruidos específicos ocurren estos cambios del comportamiento.

La mayor parte de los sonidos submarinos de origen antropogénico se traslapan en su banda de frecuencia con las variadas vocalizaciones de los misticetos, particularmente aquellas de baja frecuencia <1 kHz (Clark 1990). Este traslape acústico puede interferir en la eficiencia de detectar señales relevantes del ambiente (depredadores) y de sus congéneres (Richardson & Würsig 1997).

#### La ballena gris, sus comportamientos y el ruido causado por humanos

Las reacciones conductuales de las ballenas por el efecto del ruido pueden incluir la breve interrupción de sus actividades normales, un aumento en la vigilancia, evasión, así como probablemente un cambio en sus respuestas conductuales inmediatas (Malme et al. 1988).

Hasta ahora no existen audiogramas publicados y se desconocen el ancho de banda auditiva crítica de las ballenas grises, por lo que es difícil establecer criterios para determinar un efecto auditivo provocado por el ruido antropogénico. Existe evidencia de que las ballenas jorobadas (*Megaptera novaengliae*) se mueven hacia fuentes de sonido propagados por sus congéneres y se alejan de fuentes de ruido industriales, por lo tanto se ha inferido que la audición en estas ballenas es direccional (Richardson et al. 1990).

Asimismo, las ballenas grises tienden a alejarse de fuentes de sonido que propagaban señales bioacústicas de orcas (*Orcinus orca*) durante su migración anual; que son uno de sus principales depredadores, cambiando de rumbo hasta 180° hacia zonas de resguardo entre los bosques de Sargaso (Cummings & Thompson 1971). También se han observado que la reacción de las ballenas grises ante los ruidos de las orcas era mayor cuando el cociente de la relación señal/ruido se aproximaba a 0 dB re1 $\mu$ Pa, lo que indica que los Misticetos posiblemente también tengan una sensibilidad auditiva significativa (Malme et al. 1988).

La mayoría de los Misticetos emiten vocalizaciones de muy baja frecuencia y en comparación con los Odontocetos, el ancho de banda de estas señales es relativamente estrecho (0.12 kHz a 2.0 kHz), pero con larga duración y comparativamente menos variable (Clark 1990). Su rango o intervalo auditivo probablemente incluye estas frecuencias. El intervalo de energía acústica conocidos para todos los sonidos emitidos por las ballenas grises son <2 kHz (Ollervides 1997). Las ballenas grises usualmente más activas emitiendo sonidos en las áreas de crianza donde ocurren complejos comportamientos sociales comparados con áreas de alimentación.

Las perturbaciones a corto plazo por ruidos de origen humano pueden afectar a un individuo o un grupo de individuos temporalmente y estas puede ser estudiadas *in situ*; sin embargo, los efectos a largo plazo son considerablemente más difíciles de cuantificar aunque posiblemente puedan afectar la aptitud general y al éxito reproductivo de la población. Las probabilidades de éxito reproductivo de cualquier especie disminuyen si su hábitat crítico (área de crianza, alimentación o apareamiento), se ve afectado en su calidad ambiental, en este caso particular a los aspectos bioacústicos asociados en la detección de depredadores e interferencia de comunicación durante apareamiento.

En México, la expansión de la industria naval de transporte y pesca desde inicios de la decada de los 70s ha producido un incremento considerable en el tráfico marítimo en aguas territoriales. El ruido asociado de esta industria posiblemente puede tener efectos etológicos y fisiológicos en las ballenas grises aun no estudiados, generando cambios en su patrón de comportamiento y distribución durante la época de reproducción y cría que son de vital importancia para el mantenimiento y perpetuación de la especie. Sin embargo, la legislación ambiental actual carece de estándares en los niveles máximos de ruido permitidos en estas áreas. El Servicio Nacional de la Industria Pesquera de los EUA (NMFS) sugiere un criterio de 120 dB re1ìPa como nivel máximo del ruido por actividades humanas que pueden afectar a los mamíferos marinos (National Research Council 1994). Este umbral de ruido puede no ser un criterio utilizable en otros los lugares de distribución de la ballena gris a lo largo de su migración latitudinal, debido a que la propagación acústica debe determinarse como un valor máximo en cada localidad, dependiendo de sus caracteristicas acústicas (Au & Green 2000). También se deben considerar las diferencias ecológicas, las señales de comunicación específicas de cada especie, tamaño poblacional y la sensibilidad del umbral auditivo de la especie de cada área (Ollervides 1997).

Este capitulo pretende integrar y complementar los estudios previos en la identificación de patrones bioacústicos de las ballenas grises y su posible asociación a niveles de perturbación de ruido producido por embarcaciones en Bahía Magdalena (Urbán et al. 2003 y Pérez-Cortés et al. 2004). Asimismo, este trabajo amplia la documentación del repertorio bioacústico de las ballenas grises y evalua los efectos a corto plazo del ruido por tráfico marítimo, en el comportamiento y señales de ballenas grises que visitaron BM-BA. Los datos registrados se utilizaron para obtener los perfiles acústicos en las zonas de mayor actividad ecoturística para ayudar a definir la preferencia del hábitat de las ballenas grises en el futuro. Finalmente, se discuten las implicaciones producto de la interferencia acústica del tráfico marítimo, en el repertorio natural de las ballenas grises y se proponen recomendaciones para mitigar su posible interferencia.

#### **MATERIALES Y MÉTODOS**

### Registro acústico del repertorio de vocalización de ballenas grises y ruido ambiental

Se registraron datos bioacústicos de al menos cuatro veces por semana de enero a mayo de 1997 a 2000. Para acercarse a las ballenas grises y registrar su repertorios acústicos se utilizo una embarcación (panga) de siete m de eslora, con un motor fuera de borda de 75 caballos de fuerza. Se recolectaron grabaciones de sonido de aproximadamente cinco minutos de duración por sesión a una distancia <500 m de las ballenas, en 17 estaciones agrupadas en cuatro áreas a lo largo de la región central de Bahía Magdalena: (1) Curva del Diablo, (2) El Bajo, (3) Canal de navegación y (4) La Bocana (Fig. 1).

Independientemente de encontrar o no ballenas grises, durante cada día de muestreo, se visitaban entre cinco y siete estaciones ubicadas previamente de manera aleatoria, recopilando datos sobre las condiciones ambientales que pueden influenciar en la trasmisión acústica o causar ruido ambiental (viento, lluvia y oleaje asociado) y la presencia o ausencia de barcos y otros organismos que contribuyen al ruido en el ambiente. En cada estación se realizaron grabaciones acústicas, en donde el hidrófono y cable conector eran suspendidos a dos metros de profundidad. Se utilizó un sistema previamente calibrado que consistía de un hidrófono marca Brüel y Kjaer (B&K) 8104 de respuesta de 250 Hz  $\pm$  2% a 23°C con sensibilidad de voltaje de –206.2 dB  $\pm$ 0.25 dB re 1V ìPa<sup>-1</sup> conectado a un preamplificador B&K 2635 con una respuesta de 0.01 mV a 10V  $pC^{\mbox{--}1}$ correspondiente a -40 a -80 dB de ganancia. Estos fueron registrados con un equipo de grabación profesional Marantz PMD 430 que utiliza cintas metálicas con base de cromo y su frecuencia de respuesta es entre 35 Hz a 15 kHz, con una intensidad de 0 a –15 dB o –30 dB según la atenuación del hidrófono. Este sistema de grabación tiene un ancho de banda de 0.1 Hz a 10 kHz  $\pm$  1.5 dB.

Se cuantificó el posible efecto a corto plazo que tiene el tráfico marítimo en el patrón del repertorio acústico a través de modificaciones del uso y características de sus vocalizaciones. Al momento de avistar alguna ballena gris, la embarcación se aproximaba de manera lenta y constante a los organismos focales y se apagaba el motor y cinco minutos después se iniciaban las grabaciones acústicas. Se tomo nota de la presencia de ruido de



Fig. 1. Estaciones de muestreo agrupadas por región

embarcaciones para comprara las características especificas de las señales en presencia y ausencia de ruidos antropogénicos. En situaciones donde más de un individuo se encontraba cercano a nuestro equipo de grabación no permitió distinguir cual individuo era el organismo emisor específico debido a la reducida visibilidad de las aguas y falta de direccionalidad en nuestro equipo. Se clasificaron todos los sonidos de las grabaciones analizadas, aunque se reconoce que algunos de estos sonidos no fueron identificados como algún tipo de vocalización debido a que estos sonidos no fueron producidos por la garganta del organismo, como pudieran ser los sonidos corporales producidos por burbujas o golpes de las aletas de las ballenas contra la superficie del agua.

#### Análisis de datos

Las vocalizaciones producidas por las ballenas fueron identificadas acústicamente al reproducir las cintas y digitalizadas con el software Canary (Charif et al. 1995). Con estos registros se identificaron y clasificaron las señales bioacústicas cuantificando sus características espectrales a partir del espectrograma con una banda de filtro de 174.85 Hz. El tamaño de ventana para los análisis fue de 256 puntos con tiempo de resolución de 11.61 ms, un traslape de 50%, con frecuencia de 10.77 Hz, y límite a -80 dB, adquiridos con transformación Fourier Rápida (FFT, por sus siglas en inglés) de 1024 puntos con una tasa de muestreo de 11025 Hz y un tamaño de muestra de 16 bits. Las señales con alta relación señal/ruido (generalmente > -3 dB) fueron separadas para realizar un análisis posterior más detallado, en el cual se estimó su duración (s), frecuencia predominante (Hz), frecuencias mínimas y máximas (Hz), modulación de frecuencia (Hz) y repetición o número de señales consecutivas (Fig. 2).

Los tipos de señales fueron identificadas en grupos discretos bajo un esquema de clasificación basado en su duración, ancho de banda, componente fundamental,

presencia de modulación en frecuencia y características auditivas nombradas con las letras de cantos de Bahía Magdalena (CBM) distinguidas cada patrón con números consecutivos (Ollervides 1997) (Fig. 3A-K). Es relevante señalar que las seis primeras señales (CBM01-CBM06) coinciden con el repertorio sugerido por Dahlheim (1987) y las siguientes cinco (CBM07-CBM11) son repertorios acústicos distintos que en este estudio son incorporadas al repertorio de vocalización conocido hasta ahora de la ballena gris del Pacifico Norte Oriental. Las diferencias en las mediciones de los valores de las características de las señales durante la presencia o ausencia del ruido de los barcos fueron comparadas utilizando las medianas de diversas variables acústicas mediante pruebas Mann–Whitney ( $\alpha = 0.05$ ) (Tabla 1).

#### Estimación de intensidad del ruido ambiental y zonación en Bahía Magdalena

En cada estación se obtuvieron como mínimo un total de 80 grabaciones con una duración mínima de cinco minutos cada una, para obtener los niveles de ruido medidos en presión relativos de  $1/_3$  de octavo de banda (dB re 1 $\mu$  Pa<sup>2</sup> Hz<sup>-1</sup>). Se aplicó un factor de corrección obtenido en la calibración del sistema para obtener niveles de presión absolutos de todas las muestras analizadas.

El complejo lagunar Bahía Magdalena se diferenció en cuatro áreas de acuerdo a la profundidad y los frecuencia e intensidad de ocupación de las ballenas grises como de humanos (Fig. 1). Para el análisis se utilizaron los registros de 17 estaciones (en algunas ocasiones estas estaciones fueron muestreados durante varios días consecutivos) comprendidas en estas cuatro zonas. Las áreas donde diariamente se observaron entre cuatro y 26 embarcaciones fueron clasificadas como áreas de alta utilización y las áreas donde el tráfico de embarcaciones era limitado, es decir, donde no se observaron diariamente más de 3 embarcaciones, fueron clasificadas como áreas de baja utilización. Un criterio similar para la clasificación de utilización por las ballenas fue utilizado. Este criterio no pretende determinar la relevancia biológica de las áreas, ya que las estimaciones más precisas debieran incluir los transectos de distribución y abundancia con correcciones del esfuerzo realizado en cada área. Las diferencias en los niveles de ruido por área fueron analizadas usando la prueba del ÷2  $(\alpha < 0.05).$ 

#### RESULTADOS

El esfuerzo total de grabación acústica en los cuatro meses (enero a mayo) incluidos en la temporada invernal



Fig. 2. Parámetros acústicos medidos en las señales de las ballenas grises en Bahía Magdalena



#### Tiempo (s)

Fig. 3. Espectrogramas de las señales acústicas (repertorio) de ballena gris en Bahía Magdalena. El filtro de banda fue 174.85 Hz y la tasa de muestreo 11025 Hz s<sup>-1</sup>

(1997–2000) comprendió un total de 55 días, 832 cintas y 2884 minutos registrados. Se analizaron 315 sesiones de grabación cuya duración promedio de cada sesión fue de 10.3 min (desviación estandard = 14.4 min).

de ruido promedio de las cuatro regiones fueron significativamente diferentes, siendo mayores en la región de la bocana y relativamente menores en la región de canales al norte de Bahía Magdalena (c2 = 44.1, g.l. = 3, p = 0.00001) (Tabla 1).

#### **Ruido ambiental**

A partir de las 80 muestras analizadas al azar de cada región para calcular los niveles de ruido ambiental en Bahía Magdalena (0.087 kHz) se estimo que los niveles

#### Ruido de embarcaciones

Las embarcaciones más comunes de Bahía Magdalena son las pangas con motores fuera de borda con potencia de 60 a 125 caballos de fuerza. De las grabaciones acústicas realizadas cuando las pangas se movían a velocidad máxima se determinó que su frecuencia promedio era de 2.4 kHz, rango de frecuencia de 0.81 a 5.1 kHz y su frecuencia predominante alrededor de los 0.97 kHz.

#### Cambios en las tasas de producción de sonido y las características de las señales

Observamos cambios en ciertas características especificas medidas en la señales bioacústicas de las ballenas en la presencia de ruido de embarcaciones (Tabla 2). La señal CBM01 mostró la mayor variabilidad en función al ruido antropogénico. El ancho de banda fue más estrecho y tanto la frecuencia mínima como la máxima fueron más altas en grabaciones con ruido de barcos presentes. La ballena posiblemente intentando emitir vocalizaciones por encima del ruido ambiental presente, podría asemejar en términos humanos, a alguien gritando para ser escuchado. Las ballenas emitiendo la señal CBM04 ampliaron su ancho de banda y exhibieron frecuencias máximas más altas en presencia de ruido antropogénico. La señales de frecuencia mínima CBM02 y CBM05 se vieron modificadas al registrarse mas altas durante la presencia de ruido antropogénico. Utilizando términos onomatopéyicos podríamos decir que las señales grabadas variaron desde mugidos, ronquidos, gruñidos y ruidos de muy baja frecuencia y larga duración a señales cortas con banda ancha y sonidos metálicos (Fig. 3 A-K).

#### DISCUSIÓN

#### **Ruido ambiental**

El ruido ambiental marino es altamente variable, pero es típicamente de banda ancha sin perfiles importantes de la energía entre 0.20 kHz y 2.0 kHz (Urick 1983). En Bahía Magdalena los niveles de ruido ambiental fueron más frecuentes para las frecuencias bajas (<2.0 kHz) en la región de la Bocana debido a las características relativamente más profundas (en promedio 40 m) de propagación del sonido de esta área que son similares a las observadas por Dahlheim et al. (1984) en la porción más profunda y abierta de la Laguna San Ignacio. Esta es la región con niveles de ruido más alto comparados con las otras tres regiones (Tabla 1). Los niveles intermedios de ruido ambiental fueron grabados la región del canal de navegación, debido a la mayor utilización por las embarcaciones, y en el Bajo (con profundidades <5 m), probablemente debido a la dispersión, absorción y reflexión acústica en las numerosas barras de arena de esta región. La región de canales, al norte de Bahía Magdalena, tuvo los niveles más bajos de ruido ambiental debido a su naturaleza somera (profundidades < 9 m), a pesar del alto registro de sonidos producidos por diferentes crustáceos que dominan el espectro a frecuencias mayores a 1 kHz. La permanencia de las ballenas grises en la zona de canales puede atribuirse a que prefieren áreas de baja energía acústica (Ollervides 1997). Las señales de los barcos, que son de frecuencia <1.2 kHz teóricamente no se propagan fácilmente en áreas someras donde el tamaño de la onda es mayor a la profundidad (<5 m) por lo tanto éstas se pueden detectar solamente a distancias muy cortas. De manera similar, Weller et al. (1999) observó que las ballenas grises en Siberia se distribuyen en aguas someras, donde por ser una región relativamente inhabitada por humanos, les proporciona una área con menor intensidad de ruido ambiental. A pesar de no tener una comparación del ruido en condiciones diurnas vs nocturnas, asumimos que las condiciones de día tendrán predominancia de ruido por lanchas y las condiciones nocturnas serán cercanas a las naturales.

#### Ruido de las embarcaciones

Los niveles de ruidos registrados en este estudio, coinciden con las grabaciones producidas por pangas en un estudio realizado por Dahlheim et al. (1984). Urick (1983) estimó que los niveles del ruido ambiental en el hemisferio norte aumentaron por lo menos10 dB entre 1950–1975 debido a la industria naval y que el ruido de las embarcaciones se centra entre los 0.02 kHz y los 0.5 kHz. El tráfico de las embarcaciones en aguas someras puede agregar 65 dB a 0.01 kHz; 80 dB a 0.05 Hz y 30 dB a 0.10 Hz (Urick 1983). Aunque estos sonidos son generalmente transitorios, tienen un alto potencial de interferir y traslaparse con la amplitud y las frecuencias principales de las vocalizaciones de las ballenas grises.

#### Repertorio acústico de las ballenas grises

La ballena gris produce series de pulsos relativamente simples, así como señales de baja frecuencia. Aunque la ecolocalización no se ha confirmado para ningún misticeto, por su carencia de melón (Thompson et al. 1979), los pulsos posiblemente pueden servir para la orientación y navegación. Las señales pulsadas del tipo CBM01 son complejas y más comunes en áreas de alta interacción social, como las lagunas de crianza a lo largo de la costa occidental de la península de Baja California. Wisdom et al. (2001) observaron que, en una ballena gris en cautiverio, la tasa de producción de una vocalización es identificada como el canto de un anfibio (croak) que va en aumento durante períodos de alta actividad en la superfice, lo cual incluye actividades de reproduccion, movimientos y alimentación. Las características acústicas de las señales clasificadas como 'croak' descritas por Wisdom et al. (2001) son análogas a las de las señales registradas como CBM01 en Bahía Magdalena (Fig. 3A). Los sonidos CBM01 son transitorios de banda ancha y asemejan a los golpes sobre una superficie metálica. Estas pulsaciones de sonido ocurrieron en diversas combinaciones de 1-16 pulsaciones, con un promedio de

cinco pulsaciones por serie y un índice de repetición de 7.4 pulsaciones por segundo. La variabilidad en las combinaciones de la repetición de las señales CBM01 sugiere que los individuos pueden utilizar este tipo de señal acústica para identificación personal, posiblemente útil durante actividades de cortejo. Aunque las señales CBM01 constituyeron menos de la mitad de todas las señales registradas en la ruta migratoria de las ballenas por Crane (1992), este tipo de señal dominó el repertorio de las vocalizaciones de las ballenas tanto en este estudio como el de Dahlheim (1987) y el de la cría en cautiverio de Wisdom et al. (2001).

Una señal breve modulada ascendente de 0.22 kHz a 0.38 kHz fue clasificada como CBM02 (Fig. 3B). Las vocalizaciones de baja frecuencia en los Misticetos se modulan comúnmente de baja a alta frecuencia (Clark 1990). La ballena de Groenlandia (Balaena mysticetus) emite señales simples similares a las de la ballena gris durante su temporada de alimentación cuando tiende a disminuir sus actividades sociales (Clark 1990). Contrario a esta disminución de vocalizaciones, Clark & Clark (1980) habían observado que las ballenas francas (Eubalaena australis) producían señales discretas asociadas a las señales de contacto y patrones de conducta muy variables asociadas a grupos activos. Clark & Clark (1980) especularon que esta señal ascendente podría representar una cierta forma de señales de contacto entre las ballenas francas. Edds & Macfarlene (1987) observaron que individuos solitarios de las ballenas de aleta (Balaenoptera physalus) suelen producir señales acústicas de baja frecuencia, mientras que cuando estos animales se encontraban en parejas se registraron repertorios acústicos con frecuencias relativamente más altas. Würsig et al. (1982) también observaron que las ballenas de Groenlandia produjeron señales montónicas de baja frecuencia con aparente función de vocalizaciones de contacto entre la madre y la cría.

Las señales CBM03 (Fig. 3C) fueron consideradas en el presente estudio como señales simples entre los misticetos y a los oidos de un ser humano (sonidos onomatopéyicos) asemejan el mugido de un rumiante (Clark & Clark 1980). Estas señales monotónicas de baja frecuencia se propagan mejor que las de frecuencias más altas y, por lo tanto se ha propuesto que posiblemente sean utilizadas para mantener la cohesión del grupo (Clark & Clark 1980). Estas señales simples son más comunes durante la migración de las ballenas grises, ya que las distancias entre individuos son mayores que aquella cuando se encuentran dentro de las lagunas de crianza (Crane 1992). Cummings et al. (1968) observaron que aproximadamente el 87% de las señales acústicas de las ballenas grises registradas en las costas del estado de California, EUA son este tipo, es decir suenan como quejidos. Sin embargo, en la misma zona, Crane (1992) registró estas señales en cerca del 47% del tiempo.

Eberhardt & Evans (1964) describieron vocalizaciones que a lo humanos nos recuerdan ronquidos de baja frecuencia en ballenas grises en la Laguna de San Ignacio. Estas señales CBM04 (Fig. 3D) tienen un ancho de banda estrecho y se transmiten a distancias cortas. Típicamente éstas vocalizaciones son empleadas para demostrar agresión, dominancia y la identidad del individuo (Clark 1990). Watkins (1981) menciona que las ballenas de aleta *B. physalus*, emiten este tipo de señales en respuesta a la presencia de embarcaciones en las costa Noreste de EUA.

Grandes cantidades de burbujas expelidas por el respiráculo fueron registradas sonoramente y clasificadas como señales CBM05 (Fig. 3E). Clark & Clark (1980) describieron señales complejas similares a una trompeta, que son discretas y utilizadas para mantener el contacto entre las ballenas francas. Estos tipos de señales pueden dar información sobre la afiliación del grupo y son emitidas por ballenas que se encuentran en estado de excitación. Su duración es más corta entre 0.23 y 3.34 segundos, son pulsadas, y de mayor amplitud de banda (0.23 kHz a 2.26 kHz) tienen modulación en la amplitud y frecuencia, sus frecuencias fundamentales oscilan entre los 0.5–5.0 kHz y su frecuencia de repetición es más alta que aquellas señales emitidas bajo condiciones normales.

Otras exhalaciones sonoras de aire de origen desconocido por las ballenas produjeron las señales acústicas clasificadas como CBM06 (Fig. 3F), que en ocasiones asemejan sonidos de flatulencias per se. Estas señales se registraron durante conductas violentas de individuos y pueden ser indicativas de respuestas conductuales ante un disturbio inmediato. Comparado a las señales CBM05, el ancho de banda de las señales CBM06 fue más estrecho (de 0.29 a 0. 80 kHz), la frecuencia predominante fue más baja (0.13 kHz), y la duración de la señal fue mayor (entre seis y siete segundos). La posibilidad de que esta señal sea una forma de comunicación no-vocal debe considerarse puesto que se asocian de vez en cuando a acontecimientos de alimentación o a episodios de socialización. Clark (1983) concluyó que estos ruidos pueden ser producidos por las ballenas francas que se encuentran perturbadas. Estos soplos ásperos submarinos también fueron producidos por hembras en grupos sexualmente activos y por madres que se han separado de su cría.

Las señales acústicas CBM07–CBM11 han sido registrados solamente en el presente estudio en *Eschrichtius robustus*. Las señales CBM07 que a los humanos nos recuerdan gruñidos, fueron altamente pulsantes y complejas (Fig. 3G). Se registraron durante periodos de creciente actividad durante periodos de cortejo. Estas señales discretas también se han registrado en ballenas francas y se ha planteado que puedan ayudar al contacto entre individuos, proporcionando información sobre la afiliación del grupo (Clark & Clark 1980).

La señal similar ruido al momento de tragar líquidos que aquí denominamos como ugg (CBM08) (Fig. 3H), se asemeja a golpes o pulsaciones cortas. Comparado con las señales CBM01, tienen un ancho de banda más estrecho (entre 0.10 kHz y 0.82 kHz), con frecuencias predominantes muy bajas (0.15 kHz a 0.44 kHz) y duración más corta (de 0.03 a 2.62 segundos). Es importante hacer notar que todas estas señales ocurrieron en el mismo lugar y tiempo, probablemente producidas por el mismo individuo, que en este caso se trataba de una cría. Parks & Tyack (2005) describieron recientemente que una de las señales de las ballenas francas se asemejaba a un grito común pero de un ancho de banda mayor y al parecer, en un contexto aparente de vacilamiento en el caso de un evento de agresión. Este tipo de señales se han registrado solamente en la presencia de hembras pariendo y fueron atribuidas, en una ocasión, a una cría. Por lo tanto es posible que estos sonidos sean producidos en etapas del desarrollo del aprendizaje de las vocalizaciones (Parks & Tyack 2005).

Las señales CBM09 que a los humanos suena como un rugido (Fig. 3I), tuvieron un ancho de banda y frecuencia predominante estrechos (0.14 kHz a 0.62 kHz, y entre 0.44 kHz y 0.58 kHz, respectivamente). Las características acústicas de esta señal fueron más complejas que las señales CBM01 o CBM08.

Las señales CBM10 (Fig. 3J), asemejan el sonido de abrir o cerrar una puerta (rechinido). Painter (1963) describió un sonido ondulado grave como tipo muy común de la señal registrada entre ballenas grises. De igual manera, Fish et al. (1974) describieron un sonido ronco entre ballenas grises en la Laguna de San Ignacio. Este tipo de vocalización tenía un ancho de banda muy amplio (1.34 kHz–3.56 kHz) y fue registrada solamente durante la presencia de barcos y podía representar una respuesta acústica ante este disturbio. Los sonidos que contienen mucha energía son casi únicos y se asocian al miedo.

La señal del traqueteo CBM11 (Fig. 3K), estuvo compuesta por 7-11 pulsos de banda ancha. Esta señal se asoció con la alimentación de algunos individuos. Este sonido se genera por el agua que pasa entre las barbas de la ballena gris durante la alimentación superficial que se asemeja al sonido que haría una persona al recorrer sus dedos a lo largo de un peine. Un ruido similar producido por las barbas de ballenas francas fue identificado durante su alimentación (Watkins & Schevill 1976). Las características de este tipo de sonido son variables según la cantidad de barbas, así como del porcentaje de las barbas que se encuentran inmersas bajo el agua y la longitud y el grueso de las placas. Watkins & Schevill (1976) mencionan que entre 2–10 pulsos de banda ancha y de baja frecuencia son repetidos irregularmente con niveles de presión que se extendían de 6-40 dB entre 2-9 kHz. Aunque las señales CBM11 fueron registradas para las ballenas grises durante su alimentación superficial, la disparidad en las características acústicas entre las señales sólo se puede atribuir a las diferencias en las barbas entre especies.

#### Variabilidad en los patrones de vocalización en respuesta al ruido antropocéntrico

Se observaron cambios en características específicas de señales grabadas en las ballenas grises en función del ruido de las embarcaciones (Tabla 2). Los mamíferos marinos pueden modificar y ajustar sus vocalizaciones ante el enmascaramiento acústico al variar la frecuencia, intensidad y tasa de producción de las mismas (Dahlheim et al. 1984, Norris 1995). La tasa de vocalizaciones de las ballenas grises ha sido registrada como mayor frecuencia durante la presencia de ruido de embarcaciones con motor fuera de borda que en ausencia de ellas (Dahlheim 1987). Las señales emitidas por belugas *Delphinapterus leucas*, durante exposición a ruido experimental y en el campo fueron repetitivas, cambiando el tipo de llamada y cambiando la ubicación de la frecuencia predominante.

En un principio, no es posible filtrar totalmente el ruido de las embarcaciones durante el análisis de las señales acústicas de las ballenas grises puesto que estos ruidos pueden tener características similares de amplitud y frecuencia a las señales de la ballena gris.

Los periodos más sonoros coincidieron con los periodos de mayor actividad en las ballenas grises. Algo similar a individuos y grupos pequeños de ballenas francas que suelen ser más silenciosos o a hacer perceptiblemente pocas señales en comparación a los grupos sociales más complejos y activos (Clark 1983). La producción de vocalizaciones por las ballenas grises es mayor cuando son más numerosas, cuando se encuentran en rumbo de una colisión con otra ballena o contra alguna embarcación, cuando ballenas solitarias persiguen a las madres con cría, durante interacciones con delfines y ante la presencia de ruido producido por actividades humanas (Dahlheim et al. 1984). Durante este estudio se esperaba registrar más señales sonoras en grupos de mayor tamaño, pero las diferencias entre individuos de tallas distintas fueron estadísticamente indistinguibles. Asi mismo, la carencia de un arreglo de 3 hidrófonos, limita la posibilidad de identificar con exactitud al organismo emisor, en el caso de grupos de más de una ballena.

Los cetáceos pueden alterar diversas características de sus señales en respuesta a los niveles de ruido ambiental predominante. Después de que una pequeña embarcación tipo panga se acercó a un grupo de ballenas jorobadas, Norris (1995) observó que la estructura de la frecuencia de algunas unidades de la canción cambió y que la duración de las unidades disminuyó, produciendo así un tempo creciente. Según este investigador, las ballenas jorobadas mejoraron la relación señal–ruido al aumentar la intensidad de la señal y la repetición de la frase, así como cambiar la estructura de la frecuencia para evitar el traslape con el ruido.

El ruido puede producir otras respuestas sútiles que se podrían pasar por alto en las pruebas estadísticas, por lo tanto, el significado biológico de la interrupción de actividades o el elevar los niveles de estrés y demás cambios conductuales debán ser considerados. Especulamos que las ballenas grises cambian las características específicas de sus señales para maximizar sus canales de comunicación en respuesta a los niveles de ruido ambiental que prevalecen. Los cambios estructurales en las vocalizaciones de las ballenas se pueden relacionar con el tipo de estímulo del ruido.

Debido a la variabilidad en la respuesta de comportamiento de los mamíferos marinos al ruido, la distancia del la fuente de sonido que causa el disturbio, es una variable difícil de estimar (Brendan et al. 1987). Las ballenas grises posiblemente pueden detectar y responder a las embarcaciones a mayores distancias que las estimadas en este estudio. A pesar de que se apagó el motor antes de cualquier grabación, el efecto distractor de la embarcación de este estudio sobre las ballenas no puede ser descartado. Es posible que las ballenas respondan no solamente al ruido pero también a los estímulos visuales, olfativos y/o táctiles. Aunque las ballenas grises han mostrado poca reacción a embarcaciones ancladas y/o no-motorizadas (veleros).

La exposición al ruido incouo de manera prolongada en la que el organismos se puede habituar, se ha comprobado en numerosos misticetos (Watkins 1986, Richardson et al. 1990). La habituación y atracción a nuevos estímulos pueden conducir al fenómeno conocidos como 'ballenas amistosas' que ha venido en aumento entre ballenas grises, desde su primer registro, hasta mediados de los años 70 (Jones & Swartz 1984). Estas ballenas amistosas se acercan a las embarcaciones y permiten el contacto físico con los seres humanos. La habituación puede ser peligrosa, debido al creciente número de acercamientos de embarcaciones que incrementa la posibilidad de colisiones. La habituación y se aparente tolerancia no se deben confundir con el hecho de que a pesar de ello estos animales siguen utilizando estas áreas para reproducción y crianza. Es posible que no tenga ninguna opción alternativa de espacio o recursos para su protección.

Dahlheim et al. (1984) observaron que las ballenas grises cambiaron dramáticamente su distribución, alejándose de las fuentes de ruido después de un mes de experimentos en la Laguna de San Ignacio. Los efectos indirectos del ruido pueden incluir la dispersión de sus presas, la disminución del potencial reproductivo mediante la reducción del número de apareamientos exitosos y la disminución en la tasa de crecimiento (Richardson & Würsig 1997). El ruido puede causar daño auditivo temporal o permanente dependiendo de la frecuencia y amplitud de la señal, la sensibilidad auditiva del receptor, la duración de la exposición y de la recuperación entre las exposiciones (Richardson et al. 1995).

#### CONCLUSIONES

Estos datos apoyan las hipótesis que el ruido del tráfico marítimo influye de manera notoria en las vocalizaciones de las ballenas grises en la región central del Complejo Lagunar BM–BA. Sin embargo, con los datos registrados hasta el momento es difícil de evaluar si esta influencia es negativa. Este estudio proporciona información básica sobre el repertorio de vocalizaciones de las ballenas grises y de cómo las características de algunas señales cambian con la presencia de ruido de embarcaciones. De tal forma son elementos con los que podemos sugerir cambios que podrán ser implementados en la observación de ballenas, para mitigar los efectos del tráfico marítimo ecoturístico en Bahía Magdalena. El presente estudio contribuye con cinco nuevos registros de señales no descritas con anterioridad, lo cual incrementa al creciente conocimiento del repertorio de vocalización de la ballena gris. Los significados del comportamiento de cada tipo de señal han sido difíciles de documentar porque algunas señales no se agrupan en categorías bien definidas. Al igual que otros Misticetos, las ballenas grises cambian las características y tasas de sus señales en la presencia de niveles de ruidos elevados provenientes de embarcaciones. La modificación de su comportamiento vocal puede agregar tamaño y flexibilidad a su repertorio simple.

Como en muchas otras áreas costeras alrededor del mundo, el complejo lagunar de Bahía Magdalena-Bahía Almejas tiene crecientes presiones de planes de desarrollo y el efecto que representa el tráfico de embarcaciones de observación de ballenas. Nuestro análisis acústico del complejo lagunar demostró que los niveles típicos del ruido ambiental se diferencian debido a los patrones humanos de utilización así como debido a la batimetria de regiones específicas. El área del nivel más bajo de ruido ambiental coincide con la región de canales cerca de la Curva del Diablo, donde el tráfico de barcos es actualmente limitado. Estas diferencias en la propagación deben ser consideradas al evaluar respuestas acústicas de estos organismos. Se sugiere que esta zona (entre Puerto San Carlos y Puerto López Mateos) permanezca libre de embarcaciones por lo menos para fines de observación de ballenas. No obstante, la supervisión acústica debe continuar mediante mediciones de ruidos ambientales en regiones críticas del complejo lagunar.

Actualmente, los niveles de ruidos medios registrados en el complejo lagunar de Bahía Magdalena aún no exceden los 120 dB re 1mPa, los cuales aparentemente afectan a los mamíferos marinos (National Research Council 1994). Sin embargo, se pronostica que los niveles del ruido pueden en un futuro aumentar a medida de un aumento en las actividades humanas en la región. No es probable que existan otros hábitats disponibles y con menos disturbio acústico de los que actualmente utilizan las ballenas y que seguramente han utilizado desde tiempos inmemoriables.

El ruido de embarcaciones en el complejo lagunar se traslapa con las vocalizaciones de las ballenas grises. Una definición oportuna de la distancia en la cual el efecto negativo puede ser mas severo, puede ayudar a contemplar la planificación de zonas de impacto diferencial del ruido para la especie, que será de gran relevancia social, política y económica para los habitantes sudcalifornianos.

El repertorio acústico de las ballenas grises ha sido incrementado seis señales (CBM01–06) a once tipos de señales distintas asociados a diversos contextos del comportamiento que debe ser estudiado con mayor precisión en el futuro. Las reacciones de los mamíferos marinos hacia el ruido subacuático son altamente variables y estas van desde ninguna respuesta a cambios en la distribución previamente conocida, hasta evitar áreas con alto umbral de ruido. Las ballenas grises cambiaron ciertas características de sus vocalizaciones en respuesta a ruidos de embarcaciones con motor fuera de borda. Estos efectos acústicos podrán ser reducidos significativamente aumentando la distancia entre las fuentes de ruido y las ballenas. Lo cual es relativamente fácil de lograr respetando las normas de distancias mínimas del acercamiento, además de evitar la variación de frecuencia y la amplitud de ruido, evitando cambios repentinos en velocidad o engranajes cerca de una ballena. Debe existir un programa de sensibilización y educación a la población de pescadores y prestadores de servicios ecoturisticos sobre la protección del habitat de las ballenas grises.

La respuesta de evasión en el comportamiento de ballenas hacia las embarcaciones puede ser atenuada creando y manteniendo áreas del refugio dentro del complejo lagunar como la zona en la Curva del Diablo o la zona de El Bajo. Así, apoyamos la restricción del uso de barcos en las regiones sensibles, muy a pesar de las presiones de abrir estas áreas a la industria de observación de ballenas. Las ballenas deben tener por lo menos algunos refugios dentro de la laguna donde realicen sus actividades de manera natural, sin fuentes de perturbación no naturales.

Agradecimientos. Se agradece a todas las personas que nos ofrecieron comentarios, a los editores y arbitros anónimos personas que revisaron versiones previas de este documento final. Agradecemos las diversas fuentes de financiamiento que apoyaron este estudio como la Enciclopedia Británica, el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT), la Fundación García Robles, la Comisión Fulbright, el Grupo Earthwatch, la Fundación JJ y La Escuela de Campo de Humedales en Puerto San Carlos B.C.S., México.

#### LITERATURA CITADA

- Au WWL, Green ML (2000) Acoustic interaction of humpback whales and whale watching boats. Mar Environ Res 49:469– 481
- Brendan K, Burns J, Quakenbush L (1987) Response of ringed seals (*Phoca hispida*) to noise disturbance. 9<sup>th</sup> International conference on port & ocean engineering under Arctic conditions, Fairbanks, Alaska (Abstract)
- Clark CW (1983) Acoustic communication and behavior of the southern right whale (*Eubalaena australis*). En: Payne R (ed) Communication and behavior of whales. Westview Press, Inc., Boulder, Colorado, p 163–198
- Clark CW (1990) Acoustic behavior of Mysticete whales. En: Thomas J, Kastelein R (eds) Sensory abilities of cetaceans. Plenum Press, New York, p 571–583
- Clark CW, Clark J (1980) Sound playback experiments with southern right whales (*Eubalaena australis*). Science 207:663-665
- Crane N (1992) Sound production of gray whale, *Eschrichtius robustus*, along their migration route. MS thesis, San Francisco State University and Moss Landing Marine Laboratories, Moss Landing, CA
- Cummings WC, Thompson PO (1971) Gray whales, *Eschrichtius* robustus, avoid underwater sounds of killer whales, *Orcinus* orca. Fish Bull 69:525–530
- Cummings WC, Thompson PO, Cook R (1968) Underwater sounds of migrating gray whales, *Eschrichtius glaucus* (Cope). J Acoust Soc Am 44:1278–1281

- Dahlheim ME (1987) Bioacoustics of the gray whale (*Eschrichtius robustus*). PhD thesis, University of British Columbia, Vancouver, British Columbia
- Dahlheim M, Fisher H, Schempp J (1984) Sound production by the gray whale (*E. robustus*) and ambient noise levels in Laguna San Ignacio Baja California Sur, Mexico. En: Jones ML, Swartz SL, Leatherwood S (eds) The gray whale. Academic Press, Orlando, FL
- Eberhardt RL, Evans WE (1964) Sound activity of the California gray whale, *Eschrichtius glaucus*. J of Aud Eng Soc 10:324– 328
- Edds PL, Macfarlene JAF (1987) Occurrence and general behavior of balaenopterid cetaceans summering in the St. Lawrence Estuary, Canada. Can J Zool 65:1363–1376
- Fish JF, Sumich JL, Lingle GL (1974) Sounds produced by the gray whale *Eschrichtius robustus*. Mar Fish Rev 36:38–45
- Fristrup KM, Hatch LT, Clark CW (2003) Variation in humpback whale (*Megaptera novaeangliae*) song length in relation to low–frequency sound broadcasts. J Acoust Soc Am 113:3411– 3424
- Gardner SA, Chavéz–Rosales S (2000) Changes in the relative abundance and distributions of gray whales (*Eschrichtius robustus*) in Magdalena Bay, Mexico during El Niño event. Mar Mamm Sci 16:728–738
- Jones ML, Swartz SL (1984) Demography and phenology of gray whales and evaluation of whale–watching activities in Laguna San Ignacio, Baja California Sur, Mexico. En: Jones ML, Swartz SL, Leatherwood S (eds.) The gray whale. Academic Press, Orlando, FL, p 309–374
- Le Boeuf B, Peréz–Cortés H, Urban J, Mate B, Ollervides F (2000). High gray whale mortality and low recruitment in 1999: potential causes and implications. J Cetac Res Manage 2:85–99
- Le Duc RG, Weller DW, Burdin AM, Hyde J, Würsig B (2000) Genetic differences between western and eastern North Pacific gray whales. IWC Report SC/52/SDD16
- Lesage V, Barrette C, Kingsley MCS (1993) The effect of noise from an outboard motor and a ferry on the vocal activity of beluga (*Delphinapterus leucas*) in the St. Lawrence Estuary, Canada. Proceeding 10<sup>th</sup> Biennial Conference Biology Marine Mammals. Galveston, TX
- Lilljeborg W 1861. Hvalben funna i jordenpa Grason i Roslagen i Sverige. Forhandlinger Scand Naturf 1860:599–616
- Malme CI, Würsig B, Bird JE, Tyack P (1988) Observations of feeding gray whale responses to controlled industrial noise exposure. En: Sackinger W (ed) Port and ocean engineering under Arctic conditions, Vol II. Geophysical Institute University of Alaska, Fairbanks, AK, p 55–73
- Moore SE, Ljungblad DK (1984) Gray whales in the Beaufort, Chukchi and Bering Seas: distribution and sound production. En: Jones ML, Swartz SL, Leatherwood S (ed.) The gray whale, *Eschrichtius robustus*. Academic Press, Inc., Orlando, Florida, USA, p 543–559
- National Research Council (1994) Low frequency sound and marine mammals: current knowledge and research needs. US National Research Council Ocean Studies Board, Committee on Low Frequency Sound and Marine Mammals, National Academic Press, Washington, DC, p 75
- NOM-131-ECOL-1998 NOM, Diario Oficial de la Federación 10 de enero 2000. Ciudad de México, p 11-17
- Norris TF (1995) Effects of boat noise on the acoustic behavior of humpback whales. MS thesis, Moss Landing Marine Laboratories, Moss Landing, CA
- Norris KS, Villa–Ramírez B, Nichols G, Wursig B, Miller K (1983) Lagoon entrance and other aggregations of gray whales (*Eschrichtius robustus*). En: Payne R, American Association

for the Advancement of Sciences (eds) Communication and behavior of whales: Select Symposium 76. Westview Press, Boulder, CO, p 259–293

- Ollervides F (1997) Effects of boat traffic on the behavior of gray whales, *Eschrichtius robustus*, in Bahía Magdalena, Baja California Sur, Mexico: A bioacoustic assessment. MSc thesis, Texas A&M University, College Station, TX
- Painter D (1963) Ambient noise in coastal lagoons. J Acoust Soc Am 35:1458–1459
- Parks SE, Tyack PL (2005) Sound production by North Atlantic right whales (*Eubalaena glacialis*) in surface active groups. J Acoust Soc Am 117:3297–3306
- Peréz–Cortés H, Urbán J, Loreto P. (2004) A note on gray whale distribution and abundance in Magdalena Bay complex, Mexico during the 1997 winter season. J Cetac Res Manage 6(2):133–138
- Reeves RR (1977) The problem of gray whales (*Eschrichtius robustus*) harassment at the breeding lagoons during migration, Marine Mammal Commission, Washington, DC
- Richardson WJ, Würsig B (1997) Influences of man–made noise and other human activities on cetacean behaviour. Mar Freshw Behav Physiol 29:183–209
- Richardson WJ, Würsig B, Greene C (1990) Reactions of bowhead whales, *Balaena mysticetus*, to drilling and dredging noise in the Canadian Beaufort Sea. Mar Environ Res 29:135– 160
- Richardson WJ, Greene CR, Malme CI, Thomson DH (1995) Marine mammals and noise, Academic Press, San Diego, California, USA
- Rugh DJ, Muto MM, Moore SE, De Master D (1999) Status review of the eastern North Pacific stock of gray whales. Technical memorandum, NMFS–AFSC–103, US Department of

Commerce, NOAA

- Thompson TJ, Winn HE, Perkins PJ (1979) Mysticete sounds. En: Winn HE, Olla BL (eds) Behavior of marine mammals, Vol 3: cetaceans. Plenum Press, New York, NY
- Urbán J, Rojas–Bracho L, Peréz–Cortés H, Gümez–Gallardo A, Swartz S, Ludwig S, Brownell R. (2003) A review of gray whales (*Eschrichtius robustus*) on their wintering grounds in Mexican waters. J Cetac Res Manage 5(3):281–295
- Urick RJ (1983) Principles of underwater sound for engineers. McGraw–Hill, New York, NY
- Watkins WA (1981) The activities and underwater sounds of fin whales. Scientific reports of Whales Research Institute 33:83– 117
- Watkins WA (1986) Whale reactions to human activities in Cape Cod waters. Mar Mamm Sci 2:251–262
- Watkins WA, Schevill W (1976) Right whale feeding and baleen rattle. J Mammalogy 57:58–66
- Watkins WA, Moore KE, Tyack P (1985) Sperm whale acoustic behaviors in the southeast Caribbean. Cetology 49:1–15
- Weller DW, Würsig B, Bradford AL, Burdin AM, Blokhin S, Minakuchi H, Brownell, R.L. (1999) Gray whales (*Eschrichtius robustus*) off Sakhalin Island, Russia: seasonal and annual patterns of occurrence. Mar Mamm Sci 15:1208– 1227
- Wisdom S, Bowles AE, Anderson KE (2001) Development of behavior and sound repertoire of a rehabilitating gray whale calf. Aquat Mamm 27:239–255
- Würsig B, Dorsey EM, Richardson WJ, Clark CW, Payne R (1982) Normal behavior of bowheads, Report from LGL. Ecological Research Association Engineers, Bryan, Texas for U.S. Bureau Land Management, Washington D.C. NTIS PB86– 152170

Ollervides F, Rohrkasse S (2007) Repertorio acústico de la ballena gris (*Eschrichtius robustus*) en Bahía Magdalena. En: Funes-Rodríguez R, Gómez-Gutiérrez J, Palomares-García R (eds) Estudios ecológicos en Bahía Magdalena. CICIMAR-IPN, La Paz, Baja California Sur, México, p 263-274

## Sección V

Aspectos Sociales e Históricos

### La pesquería de camarón en Puerto San Carlos, Bahía Magdalena: Una perspectiva socioeconómica

#### Salvador García-Martínez<sup>1,\*</sup>, Ernesto A. Chávez-Ortiz<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Universidad Autónoma de Baja California Sur, Carretera al Sur Km 5.5. AP. 19-B, La Paz, 23080, Baja California Sur <sup>2</sup> Depto. de Pesquerías y Ecología Marina. Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas, Instituto Politécnico Nacional, Av. IPN s/n. Col Playa Palo de Sta. Rita, AP. 592, La Paz, 23096, Baja California Sur

RESUMEN: Las variables sociales y económicas influyen en la forma en la que los sectores de la economía se desenvuelven en las micro-regiones, un ejemplo de ello es la delegación municipal de Puerto San Carlos en Bahía Magdalena. El análisis socio-económico muestra que el sector pesquero de Bahía Magdalena, presenta deficiencias importantes en los sistemas y medios de producción, captura, organización y comercialización a nivel de micro-región. Considerando lo anterior, se tomo como ejemplo la pesquería del recurso camarón, que es en términos de su valor económico y de la generación directa de empleos, es la de mayor importancia en la zona. Utilizando un modelo de simulación para la pesquería de camarón café, se calculó un rendimiento máximo sostenible (RMS) de 596.6 toneladas. Este puede generar \$10 millones de dólares anuales en utilidades. El rendimiento económico máximo (REM) generaría \$10.8 millones de dólares, con una captura de 640 toneladas anuales de este recurso. De acuerdo al modelo utilizado, se estima que en cada temporada de pesca de camarón, podrían participar 215 embarcaciones menores, las cuales generarían 430 empleos directos y 1,720 empleos indirectos. El uso de toda esta información permite entender la manera como la comunidad de Puerto San Carlos utiliza los recursos naturales y cómo les afecta la regulación referente a la utilización de estos recursos. Este tipo de análisis es fundamental para planear y proponer estrategias de manejo de recursos naturales en la región de Bahía Magdalena.

PALABRAS CLAVE: Evaluación socio<br/>económica  $\cdot$  Pesquería de camarón  $\cdot$  Manejo <br/> de recursos naturales  $\cdot$  Comunidades

ABSTRACT: The social and economic variables influence the development of the economic sectors in the microregions, for example, the county district Puerto San Carlos in Bahia Magdalena. The analyses show that the fisheries sector of Bahia Magdalena has important deficiencies in the production systems, harvest, organization, and commercialization at a micro-region level. One of the main fisheries in the region, due to its economic value and the direct jobs it generates, is the one based on the shrimp resources. Through the use of a simulation model a maximum sustainable yield (MSY) of 596.6 tons of brown shrimp was estimated, which generates \$10 million USD annually. The maximum economic yield (MEY) generates \$10.8 million USD and a catch of 640 tons, of the same resource, every year. In addition, it was estimated that every shrimp fishing season 215 small boats can harvest the resource generating 430 direct jobs and 1,720 indirect jobs. The use of this information is important because it helps to understand the way the community use natural resources and allows to understand how the regulations affect the community. This type of analysis is fundamental to propose and planning management strategies in the Bahia Magdalena region.

 $KEY \ WORDS: \ Socio-economic \ assessment \cdot \ Shrimp \ fishery \cdot \ Natural \ resource \ management \cdot \ Communities$ 

#### INTRODUCCIÓN

La distribución espacial de la población en Baja California Sur, no es homogénea y presenta gran dispersión en las áreas rurales. Esta entidad está formada por los municipios de Comondú, Mulegé, La Paz, Los Cabos y Loreto, cuyas cabeceras municipales son Ciudad Constitución, Santa Rosalía, La Paz, San José del Cabo y Loreto respectivamente. En el año 2000, el setenta y uno por ciento de la población se concentró en los municipios de La Paz y Los Cabos, ocupando el municipio de Comondú el tercer lugar con el 15 % (INEGI 2001). Cabe señalar que el desarrollo turístico del municipio de Los Cabos ha acelerado su crecimiento poblacional, en comparación con los demás municipios en el estado, hecho que influye en la migración de personas del municipio de Comondú y otros municipios, hacia Los Cabos.

La economía estatal está conformada por las actividades: a) Agropecuaria, silvicultura y pesca; b) minería; c) industria manufacturera; d) construcción; e) electricidad, gas y agua; f) comercio, restaurantes y hoteles; g) transporte, almacenamiento v comunicaciones; h) servicios financieros, seguros, actividades inmobiliarias y de alquiler; i) servicios comunales, sociales y personales, j) servicios bancarios imputados, k) educación, y l) salud. En materia de geografía económica se destaca, la estrecha relación entre el predominio de las actividades agropecuarias, mineras y pesqueras y la disponibilidad de recursos naturales. De hecho, a partir de la década de los 90, las actividades predominantes en la entidad han sido la agropecuaria y forestal, minería, comercio, transporte, comunicaciones y servicios (Cortés Ortiz et al. 2006, INEGI 1990, INEGI 2000).

La diversificación económica más baja del estado se encuentra en el municipio de Comondú, teniéndose como actividades económicas principales la agricultura, la silvicultura, la caza y la pesca. Durante las décadas de los años sesenta, setenta y parte de los ochenta, el valle de Santo Domingo fue una de las áreas agrícolas más importantes de BCS. Para fomentar el crecimiento de esta actividad económica en la región, el gobierno federal otorgó subsidios para la compra de granos, fertilizantes, insecticidas y apoyos especiales para obtener créditos bancarios. El muelle de Puerto San Carlos se terminó de construir en 1969 con el propósito de distribuir, dentro y fuera del país, los productos agrícolas que se producían en el municipio. Sin embargo, en 1981, el gobierno federal retiró los apoyos que venía ofreciendo al sector agropecuario y suspendió tanto los subsidios como los créditos. Esto propició una salida significativa de capital y de recursos humanos y provocó que, el setenta por ciento aproximadamente, de la población económicamente activa (PEA) del valle de Santo Domingo emigrara a otros municipios de la entidad y también fuera del estado (Municipio de Comondú 1999). Debido a lo anterior, los agricultores tuvieron que encontrar una nueva forma de mantener a sus familias y la pesca se convirtió en una alternativa para obtener ingresos. Se estima que aproximadamente el cuarenta por ciento de la población migró hacia las zonas costeras del estado para dedicarse a la captura de recursos pesqueros (Municipio de Comondú 1999, Delegación Municipal de Puerto San Carlos 2001). Dicha migración se dirigió principalmente hacia Bahía Magdalena, específicamente a Puerto San Carlos, debido a la disponibilidad de recursos pesqueros con alto valor comercial que se encuentran en esta región, como por ejemplo abulón, camarón, y langosta, entre otros.

La delegación política Puerto San Carlos fue fundada

en 1969 (originalmente conocida como campo pesquero "El Sancudal" y también como "Moscu"), para apoyar la salida de la producción agrícola del valle de Santo Domingo (Armada de México 1999, Secretaría de Promoción y Desarrollo Económico 2006). En décadas pasadas los tres niveles de gobierno consideraban factible impulsar actividades económicas en la delegación: la actividad pesquera, la industrialización de la captura, la instalación de la industria maquiladora y de exportación, y el turismo. La delegación fue considerada como una micro-región económica, siendo Puerto San Carlos la principal localidad concentradora de servicios. Dentro de este plan gubernamental se esperaba gue se ampliaran y diversificaran las actividades industriales pesqueras, lo que proporcionaría empleo fijo y constante en la región (Gobierno del Estado de Baja California Sur 1983). De esta forma el sector pesquero se convirtió en el más importante para la economía regional, dando empleo directo al 47% de la población económicamente activa (PEA), seguido de la industria procesadora (28%), el comercio (20%) y el turismo (5%) (INEGI 2000, Delegación Municipal de Puerto San Carlos 2004). Este plan gubernamental ha dado como resultado que el número de habitantes en Puerto San Carlos esté creciendo rápidamente cada año debido al alto flujo migratorio que se presenta en la región, especialmente durante la temporada de pesca del camarón (Delegación Municipal de Puerto San Carlos 2001). Tal crecimiento ha provocado que los recursos naturales sean utilizados y consumidos a una tasa muy alta, lo que incrementa la presión sobre los recursos naturales de Bahía Magdalena.

#### RESULTADOS

#### Importancia de la pesquería del camarón

En las costas de Baja California Sur la pesca de altura de camarones peneidos se efectúa utilizando comúnmente redes de arrastre típicas camaroneras a profundidades que van desde los 10 hasta los 100 metros (García-Borbón et al. 1996, García-Borbón & Loreto-Campos 1998, De la Rosa-Pacheco et al. 1998) mientras que, en aguas protegidas, la captura de estos recursos se lleva a cabo en lagunas costeras y bahías por medio de prácticas de pesca ribereña (Hernández-Carballo y Macías 1994). En el estado de Baja California Sur la producción promedio anual de camarón, de 1980 a 2001, fue de 730 toneladas (SEMARNAP 1995, SEMARNAP 1997, SAGARPA 2000, SAGARPA 2001). En el año 2000, en BCS, la producción de 526 toneladas de este recurso se obtuvo principalmente de la captura en esteros y bahías (67.5%), seguida de la captura de alta mar (23%) y del cultivo (9.5%) (SAGARPA 2000). Siendo Bahía Magdalena, la zona más productiva el sistema lagunar. Sin embargo, se ha presentado una tendencia al decremento en los rendimientos de la pesquería en dicha región (García-Borbón et al. 1996, García-Borbón et al. 1998a). En particular en la región de Bahía Magdalena la captura presentó un mínimo de 6.9 toneladas y un

máximo histórico de 379.3 toneladas, en las temporadas 1990-1991 y 1997-1998, respectivamente (García-Borbón & Loreto-Campos 1998) pudiendo relacionarse dicho máximo con factores ambientales, específicamente con el fenómeno de "El Niño" de 1997-1998 (García-Martínez 2005). Las especies de mayor importancia comercial que se registran en este sistema lagunar son el camarón azul, Litopenaeus stylirostris (Stimpson 1871), y el camarón café, Farfantepenaeus californiensis (Holmes 1900) (Hernández-Carballo & Macías 1994). Estas especies han sido capturadas desde 1950 (García-Borbón et al. 1996, García-Borbón et al. 1998a, García-Borbón et al. 1998b) siendo la población de camarón café la que ha sostenido la pesquería en los últimos diez años (García-Martínez 2005). Aunque la pesquería de camarón se considera estable, a nivel regional. Las poblaciones de camarón café y azul, se encuentran en deterioro pero con tendencias a la recuperación (Diario Oficial de la Federación 2000).

Las áreas donde se captura el camarón son comúnmente fondos blandos lodosos, arenosos y/o fangosos. Los estadios juveniles de camarón azul se encuentran principalmente en zonas cercanas a los esteros en donde se alimenta y protege durante el día. El camarón azul es de hábitos diurnos mientras que el camarón café es de hábitos nocturnos y se encuentra con mayor frecuencia en substratos más duros y aguas menos turbias aunque es posible su captura durante el día en zonas profundas (García-Borbón et al. 1996, De la Rosa-Pacheco et al. 1998). Acoplamiento bento-pelágico dentro del sistema lagunar, surgencias y las zonas de manglares que se encuentran en la bahía, proveen nutrientes para la región. Estos últimos son áreas de desarrollo para estadios juveniles de ambas especies de camarón. La pesca de tipo secuencial (García & Le Reste 1981) es utilizada en la región de Bahía Magdalena para capturar peneidos (García-Martínez 2005). Los estadios juveniles de camarón azul se capturan en los esteros con atarrayas y redes suriperas a profundidades de 0.5 a 6 metros. Los estadios sub-adulto y adulto de camarón azul y estadios juvenil hasta adulto de camarón café se encuentran en zonas más profundas, 6-50 metros, de la región de Bahía Magdalena son capturados con redes de arrastre pequeñas. Existen interacciones entre las especies de camarón azul y el camarón café en Bahía Magdalena basadas en el modo en el que opera la pesquería debido a que estas especies están separadas en espacio y tiempo. Cabe señalar que hay una presión pesquera alta sobre estos organismos en etapas críticas de su desarrollo biológico (García-Martínez 2005).

La pesquería de camarón es fundamental para la economía de las comunidades pesqueras de Bahía Magdalena, especialmente en Puerto San Carlos. Aunque se explotan comercialmente otros recursos como la almeja catarina y la almeja generosa, la pesquería del camarón continúa siendo la de mayor importancia socioeconómica. El régimen de acceso libre (Hardin 1968) era el que prevalecía para el manejo de esta pesquería en sus inicios (1950 a 1955), lo que dio como resultado una explotación sin control, de camarón azul y café. A partir de 1960 el gobierno federal empezó a manejar la pesquería por medio de permisos de pesca comercial y de fomento. Actualmente el gobierno federal regula la pesquería de camarón, por medio del estableciendo de vedas espaciotemporales (García-Borbón et al. 1996). El gobierno federal inicia oficialmente la temporada de captura de camarón entre fines de agosto y mediados de septiembre y la declara clausurada generalmente el último día de febrero. De marzo a agosto se declara una veda para la captura del recurso camarón en el sistema lagunar (García-Martínez 2005). Asimismo, el gobierno federal controla la organización de la fuerza laboral y el esfuerzo pesquero, otorgando un número limitado de de permisos de pesca comercial, reglamentando las embarcaciones y artes de pesca (redes de arrastre) y haciendo reglamentario el uso de excluidores de tortugas (Diario Oficial de la Federación 1992a, b, 1993, 1994, 2000). Para la pesca ribereña se especifica que las embarcaciones menores (6.60 metros) deben usar un motor fuera de borda no mayor de 55 HP y se reglamenta el utilizar atarrayas (dos máximo), redes suriperas ó dragonas (una por embarcación) ó chinchorro de línea (uno por embarcación), siendo la tripulación de hasta tres pescadores. A pesar de que no está permitido el uso de redes de arrastre dentro de bahías (Diario Oficial de la Federación 1992) este tipo de arte de pesca, conocida como chango en la región, ha sido utilizada en Bahía Magdalena por medio de permisos de pesca de fomento. Para poder usar esta red los pescadores requieren de embarcaciones menores, motores fuera de borda de 65 HP y una tripulación de hasta dos pescadores (García-Martínez 2005). Los pescadores argumentan que la única manera de capturar camarón café y/o azul en las zonas con profundidades mayores a los 20 metros. Dicha red es muy efectiva para la captura de camarón pero con niveles altos de fauna de acompañamiento. Debido a lo anterior la red de arrastre chango fue vedada en la región de BM en el año 1996. Desde entonces se han realizado pruebas experimentales con varias redes. En 1997 se probó la red de enmalle tipo japonés Genjiki-Ami (De la Rosa-Pacheco et al. 1998). En la temporada de pesca 1998-1999 se utilizó una red de arrastre denominada Ala de Ángel (Sánchez-Palafox et al. 1999) y en la temporada de pesca 1999-2000 se hicieron pruebas con una red de arrastre denominada Magdalena I (Aguilar-Ramírez et al. 1999). La red Magdalena I, la cual es una modificación del chango, incluye en su diseño un excluidor de tortugas. Ninguno de estos estudios ha proporcionado información concluyente, sin embargo, la pesca de camarón continúa efectuándose por medio de la red de arrastre Magdalena I (García-Martínez 2005). De esta forma, el gobierno federal ha otorgado derechos exclusivos de explotación a cooperativas y permisionarios, que contaban durante el 2003 con cuatrocientas cincuenta y tres embarcaciones para la captura de recursos pesqueros (SAGARPA 2004), aunque no todas operan debido principalmente a la falta de capital (García-Martínez 2005).

La reestructuración económica y el incremento en el número de pescadores desempleados de la región noroeste del país (caso Sinaloa), han tenido consecuencias negativas para la región de BM. Por ejemplo, durante la década de los años noventa, la creciente competencia por el recurso camarón en otros estados propició la migración de pescadores hacia Puerto San Carlos, lo que e incrementó de manera significativa el esfuerzo pesquero aplicado en la bahía. Cada temporada de pesca de camarón, atrae anualmente de quinientos hasta dos mil pescadores no residentes de la región, principalmente de los estados vecinos Sinaloa y Sonora. Los pescadores de estas entidades tenían mayor experiencia en la captura de camarón, por lo cual fueron invitados por otros pescadores de la región de BM para desarrollar esta actividad. Después de esto, algunos de estos pescadores se quedaron a radicar en comunidades como Puerto San Carlos y Puerto Magdalena (García-Martínez 2005).

El resultado de la aplicación de encuestas y entrevistas personales en Puerto San Carlos indica que uno de los graves problemas en la región de BM ha sido la existencia de "cooperativas fantasma", que no cuentan con equipos de pesca, embarcaciones o motores fuera de borda pero se registran con el fin de obtener un permiso de pesca (Centro de Estudios Costeros 2003), para posteriormente invitar a pescadores no residentes a participar en la captura de camarón y poder comprarles el producto a precios por debajo de su valor en el mercado. Esto provoca que se lleve a cabo una pesca de tipo "depredadora" en la que, al tratar de disminuir los costos operativos, se utilizan constantemente redes sin autorización del gobierno federal lo que incrementa la captura ilegal del recurso.

Lo anterior cambió en 1999, cuando el gobierno federal y el gobierno estatal emprendieron una política de regularización de todas las cooperativas que operan en Bahía Magdalena. Debido a lo anterior, únicamente a treinta cooperativas que contaban con su documentación oficial se les otorgaron permisos de pesca para la captura de camarón. Sin embargo, esta política de regularización no se ha aplicado completamente debido a que es el gobierno federal el que finalmente administra y otorga los permisos. Todo esto sin tomar en cuenta las necesidades socioeconómicas del sector pesquero en la región de Bahía Magdalena (García-Martínez 2005).

Los factores políticos, económicos y sociales son los que, en buena medida, han originado y estimulado la regulación de la pesquería de camarón en el país. Estos mismos factores se encuentran presentes en la pesquería de camarón en la región de BM. Además, las normas oficiales mexicanas (NOM-002-PESC-1993 y NOM-009-PESC-1993) que regulan la actividad pesquera no son específicas para la zona, llegan a destiempo y no consideran los factores socioeconómicos importantes para la región (García-Martínez 2005). Los principales factores negativos que se identifican son: la falta de respeto de las vedas, la captura del recurso camarón durante todo el año y el uso no autorizado de artes de pesca poco selectivas (García-Martínez 2005).

En la pesquería de camarón, la mayoría de los pescadores están excluidos del proceso de compra-venta del producto fresco, debido a que este proceso esta controlado por intermediarios que cuentan con el capital suficiente para la movilización de la captura fuera del área de pesca. El levantamiento de encuestas y entrevistas en la localidad (Centro de Estudios Costeros 2003) muestra que solo algunas cooperativas se involucran en el proceso de captura-procesamiento-venta en el mercado. La flota pesquera dedicada a la pesca ribereña está conformada por embarcaciones en las que el dueño es el pescador y/o su familia (García-Martínez 2005).

A nivel individual el pescador adquiere una deuda significativa para obtener ganancias de la pesquería de camarón, la cual ha presentado una producción altamente variable en este cuerpo de agua. Lo anterior produce sobreexplotación, con grave riesgo de colapso del recurso y una disminución de las utilidades generadas.

#### Evaluación demográfica social y económica

La manera en la que se comportan las variables demográficas y económicas a nivel estatal influye en la forma en la que los sectores de la economía se desenvuelven en las micro-regiones, como la delegación municipal de Puerto San Carlos. Esto permite entender la manera en que la comunidad utiliza los recursos naturales y cómo les afecta a los miembros de la comunidad la implementación de leyes y la regulación referente al uso de estos recursos.

**Tasa de crecimiento.** La tendencia de la tasa de crecimiento anual de la población en el estado fue ascendente de 1950 a 1980. Posteriormente, en la década de los años ochenta y los noventa, dicha tasa presentó una tendencia descendente (Tabla 1). Lo anterior se traduce en un incremento significativo de la población en la entidad de 1950 a 1991. De 1991 al 2000 el incremento en la población fue menor. En el periodo 1970-1980 la densidad demográfica media que había en BCS fue de 3.4 habitantes por km<sup>2</sup> (INEGI 1990), mientras que en el 2006 dicha densidad fue de 6.8 habitantes por km<sup>2</sup>.

En la Baja California Sur entre 1970 y 1980, el incremento anual de la población fue, de 51 personas por cada mil habitantes, mientras que en el municipio de Comondú la población se incrementó en 58 personas. En el periodo 1990-1995 la población del estado se incrementó en 30 personas por cada 1000 habitantes y en el municipio de Comondú el incremento fue de solo 11 personas por cada mil habitantes. Finalmente, durante el periodo 1990-2000, la población estatal se incrementó anualmente en 30 personas por cada 1000 habitantes, mientras que en el municipio de Comondú la población disminuyó en 15 personas por cada 1000 habitantes (Tabla 2).

Tabla 1. Tasa de crecimiento promedio anual de la población, 1950-2000. Fuente: INEGI (2001)

Periodo	Baja California Sur	Nacional
1950 – 1960	3.0	3.1
1960 - 1970	4.8	3.4
1970 – 1980	5.1	3.2
1980 – 1990	4.1	2.0
1990 - 2000	3.0	1.9

Municipio	Tasa media de crecimiento anual 1970-1980 (%)	Tasa media de crecimiento anual 1990-1995 (%)	Tasa media de crecimiento anual 1990-2000 (%)
BCS	5.1	3.0	3.0
Comondú	5.8	0.11	- 0.15
Mulegé	n.d.	n.d.	1.8
La Paz	n.d.	n.d.	2.1
Los Cabos	n.d.	n.d	9.2
Loreto	n.d.	n.d	0.0

Tabla 2. Tasa de crecimiento promedio anual de la población en el estado de Baja California Sur y en el Municipio de Comondú, 1970-2000. Fuente: INEGI (2001)

Lo anterior muestra como la población en este municipio disminuyó, durante la década de los años noventa, en 10 mil 509 habitantes. La relación entre hombres y mujeres se ha mantenido en el estado en una proporción aproximada de uno a uno en las últimas décadas.

La delegación municipal de Puerto San Carlos tenía, en su fundación en el año 1969, trescientos dos habitantes (Gobierno del Estado de Baja California Sur 1983). El crecimiento poblacional en esta delegación ha sido importante y significativo. En el censo hecho por el gobierno federal en 1990, se indica que su población era de 3 mil 123 personas (INEGI 1990, Sociedad de Historia Natural Niparajá 1998). Para el año 2006 la población de la delegación municipal se duplicó, estimándose esta en poco más de seis mil habitantes (Delegación Municipal de Puerto San Carlos 2007, Centro Estatal de Información 2002a).

La proyección poblacional que el gobierno estatal hizo para 1990 fue cuarenta y siete por ciento mayor que la población actual durante ese año. Para el año 2000 se tenía estimado que la población, en esta delegación, llegaría a ser de cerca de catorce mil personas teniéndose en 1999 dos mil 277 habitantes menos que la población proyectada para el año 2000 (Gobierno del Estado de Baja California Sur 1983, Armada de México 1999). En Puerto San Carlos la población flotante varía en promedio entre 500 y 900 personas, según sea temporada de baja o alta producción pesquera (Armada de México 1999).

**Migración.** La información sobre la migración que existe en el estado es útil para determinar los cambios en la distribución espacial de la población. Lo anterior se puede observar por medio de la residencia anterior o del lugar de nacimiento, sin fecha fija o bien de cinco años atrás y teniéndose que las personas vivían en un país, entidad o municipio diferente al de su residencia actual. Esta información permite explicar, por ejemplo, cambios en la estructura de edad de la población. Al mismo tiempo, es posible analizar la movilidad de la población con el objetivo de implementar planes de apoyo para fomentar el desarrollo con base en la evolución de los asentamientos humanos (INEGI 1997). La información sobre migración es útil para modificar, si es el caso, las políticas de desarrollo de las regiones que atraen a la población y las políticas que influencian a los habitantes a emigrar de ciertas poblaciones, municipios o estados.

Es importante considerar que la población flotante en Puerto San Carlos y áreas aledañas, incluyendo campamentos pesqueros, eleva el número oficial de habitantes en la zona hasta 11 mil 618 personas. Esta población flotante proviene principalmente de los estados de Sinaloa, Jalisco y Oaxaca y se encuentra en la región de agosto a febrero, durante la temporada oficial para la captura de camarón. Después de que concluye esta temporada, la mayoría de estas personas se retira a sus lugares de origen. Sin embargo, del 2 al 5 % de estas personas deciden permanecer en la región. Lo anterior ha provocado que la población se incremente anualmente y que la presión sobre los recursos naturales por ende también se incremente (García-Martínez 2005). Con respecto a la migración en BCS, en 1990 las personas que habían nacido en la entidad representaron el 71.1 % de la población mientras que el 28.9 % restante estaba conformado por inmigrantes procedentes principalmente de Baja California, Sinaloa, Jalisco, Michoacán, Sonora y el Distrito Federal (INEGI 1993). En el año 1995, el 70.4 % de la población en Baja California Sur había nacido en la entidad, mientras que el 29.6 % había nacido en otra entidad (INEGI 1996). En el año 2000 el 65.7 % de la población en Baja California Sur había nacido en la entidad mientras que el 32.5 % inmigró de otra entidad y hubo un 1.7 % indefinido (INEGI 2001). A la fecha se han presentado flujos de migración de los municipios más rezagados, por ejemplo Comondú, hacia los más desarrollados, sobre todo al municipio de Los Cabos.

**Estructura por edad e indicadores educativos.** Dentro de los aspectos sociodemográficos más importantes se encuentran las estructuras por edad y sexo, las cuales son características básicas de la población y sirven para describir y evaluar las características económicas, sociales y demográficas. Asimismo, permiten conocer la evolución y tendencia de la población y saber si una población es "joven o vieja" de acuerdo a su estructura. Además, los grandes grupos de edad ofrecen datos sobre el porcentaje de la población que está en edad de trabajar y el porcentaje de la población que es dependiente (INEGI 2000). En la entidad la estructura por edad de la población

puede considerarse como "joven", dado que la población registrada con menos de 15 años representa 31.8 % y la de 65 años o más alcanza 3.9 %. Se observa un patrón similar en el municipio de Comondú, donde la población con menos de 15 años representa el 33.8 % y la de 65 años o más alcanza el 4.4 % (INEGI 2001). La estructura por edades muestra que el 64.4% de la población tiene entre 0 y 24 años mientras que el 3.3 % es mayor de 64 años (Fig. 1). La edad media en el estado es de 22 años, muy similar a la observada para el municipio de Comondú que es de 21 años (Tabla 3).

Los indicadores educativos demuestran que el porcentaje de población alfabetizada en el municipio de Comondú es el más bajo de las cinco cabeceras municipales del estado, siendo éste 2.8 % menor que el nivel de educativo estatal (Tabla 4). En 1990, la población analfabeta de 10 años y más, en Baja California Sur fue del 7 %, mientras que en el Municipio de Comondú fue del 10 % (INEGI 1990, INEGI 2001).

**Indicadores económicos.** En lo que respecta a los indicadores económicos de coyuntura para BCS el salario mínimo ha presentado, como en todo el país, incrementos

derivados de los ajustes implementados por el gobierno federal y la Comisión Nacional de los Salarios Mínimos (García-Martínez 2005). En Baja California Sur, de 1990 al 2005, el último ajuste al salario mínimo diario quedó en \$4.25 USD (\$46.80 pesos, tipo de cambio utilizado: 11 pesos/dólar) (Fig. 2). A pesar de que se han presentado estos incrementos, el ingreso per capita mensual en el 2005 fue únicamente de \$127.63 USD (\$1,404.00 pesos) (INEGI 2005).

Los salarios que son percibidos en Puerto San Carlos por la población económicamente activa varían de \$163 a 181 dólares (\$1,800 a \$2,000 pesos) por mes (Delegación Municipal de Puerto San Carlos 2001, Delegación Municipal de Puerto San Carlos 2004). Dichos ingresos son más altos que el salario mínimo percibido mensualmente en el municipio (\$127.63 USD). El ingreso del pescador fluctúa diariamente y depende de factores que incluyen la abundancia del recurso, las condiciones climatológicas o la demanda de sus productos pesqueros, entre otros. Sin embargo, los resultados del levantamiento de encuestas (Centro de Estudios Costeros 2003) muestran que el ingreso personal de los pescadores es bajo para



Fig. 1. Población de Baja California Sur por grupo quinquenal de edad, 1995 (INEGI 1997)

Tabla 3. Grupos de edad de la población en el estado de Baja California Sur y en los cinco municipios en el año 2000. Fuente: INEGI (2001)

			Grupos de edad	
Municipio	Total	0 - 14	15 - 64	65 y más
Entidad	424,041	134,844	268,443	16,541
Comondú	63,864	21,570	38,941	2,838
Mulegé	45,989	15,596	27,604	2,186
La Paz	196,907	59,139	127,755	8,373
Los Cabos	105,469	34,672	66,834	2,637
Loreto	11,812	3,867	7,309	507

Porcentaie Municipio Población alfabetizado Comondú 41,779 92.9 Mulegé 29,790 94.2 La Paz 136,128 96.7 Los Cabos 69,471 96.1 Loreto 7,816 95.5 Total de la entidad 284,984 95.7

Tabla 4. Porcentaje de la población alfabeta en BCS, 1970-2000.

Fuente: INEGI (2001)

2005 46,80 2000 37,90 1995 18.26 1990 10.99

Pesos

Fig. 2. Salario mínimo diario (Pesos mexicanos) en Baja California Sur, 1990-2005

los residentes de Puerto San Carlos. Un salario de \$254 USD (\$2,800 pesos) mensuales cubre, de manera mínima, los costos de manutención (comida y servicios) de una familia. Con un ingreso menor que los \$181 USD (\$2,000 pesos) los pescadores tienen un incentivo extra, para continuar explotando los recursos naturales con alto valor comercial, entre los que se encuentra el camarón café, sin embargo obtener un ingreso mayor no asegura que se frene dicho incentivo. Cabe hacer mención que la fuerza laboral se encuentra debilitada, de cierta manera, debido a que la mayor parte del ingreso familiar proviene de un solo salario (García-Martínez 2005).

Lo anterior se debe a que en la región de BM se ha mantenido, en un alto porcentaje de la población, la tradición de que es el hombre el que debe de trabajar para la manutención del hogar. Esto a pesar de que puedan existir fuentes de trabajo para las mujeres, como por ejemplo "Conservera Pando" (antes "Conservera San Carlos"), una cooperativa y una empresa privada que se dedican al enmarquetado de camarón y en el sector comercio. Esta situación cambia temporalmente (un mes en promedio) durante la pesquería de almeja catarina, debido a que se les da trabajo a mujeres y jóvenes para la extracción del callo de dicho bivalvo.

A pesar de su importancia y las ventajas comparativas, la actividad pesquera en BCS se desarrolla con importantes deficiencias en los sistemas y medios de producción, captura, organización y comercialización. Lo anterior a causa de los bajos niveles de inversión de los sectores público y privado, insuficiencia financiera, retraso tecnológico, falta de capacitación, deficiente estructura organizativa, falta de equipo de alta mar y carencia de plantas de conservación e industrialización de productos pesqueros, insuficientes sistemas de agua potable y almacenamiento y fallas en los canales de comercialización (INEGI 2001, García-Martínez 2005). Todo esto ocasiona que la producción del sector sea modesta y que no se aproveche el potencial productivo real que tiene la entidad en este rubro. Por lo mismo, el sector pesquero de Bahía Magdalena presenta las mismas deficiencias a nivel de micro-región (García-Martínez 2001).

Población económicamente activa. En el municipio de Comondú no hay una diversificación económica alta debido a que la estructura productiva está concentrada en el sector primario. En el año 2000, la población económicamente activa (PEA) en el municipio de Comondú fue de 22 mil 698 habitantes de los cuales, 5 mil 974 personas (26.32 % de la PEA) se dedicaron a la agricultura, ganadería, caza, silvicultura y pesca. En 2006 la población dedicada a este sector fue de veinte mil 138 personas.

En el municipio de Comondú la pesca aporto el 14.9% del valor de la producción del estado (Centro Estatal de Información 2002b, INEGI 2000). Los recursos económicos en Puerto San Carlos son aportados por la industria pesquera (60%), la procesadora (20%), el comercio (15%) y en época de observación de ballenas, el turismo aporta un 5% (Armada de México 1999, Secretaría de Promoción y Desarrollo Económico 2006). La población económicamente activa en Puerto San Carlos representa el 30.8 por ciento de la población total. El 46.2 % de esta se dedica a las actividades pesqueras. Sin embargo esta estimación puede ser incompleta porque no se considera dentro de la PEA a la totalidad de las personas que trabajan en la pesca (Centro Estatal de Información 2002b). Por otro lado, el porcentaje de la población dedicada a la pesca, según el tipo de organización, presentó cambios importantes durante la década de los noventa y durante 1999 el porcentaje de participación del sector social se incrementó a más del 30 %, En tanto que la participación del sector privado disminuyó de manera considerable y fue nula la participación de empresas paraestatales (Tabla 5, INEGI 2000).

Las embarcaciones que el sector privado (empresas y particulares) utilizó para la captura de recursos pesqueros en el estado representaron el 51.4% del total de las embarcaciones inscritas en el Registro Nacional de la Pesca. El sector social (cooperativas, uniones ejidales y uniones de pescadores) ocupó el segundo lugar mientras que el sector público (escuelas tecnológicas) ocupó el tercer lugar con el 48.2 % y el 0.4 % respectivamente (INEGI 2000).

La manera en la que ha venido cambiando la economía en el estado está influenciando de manera directa al sector pesquero estatal. Asimismo, existe una influencia sobre el sector pesquero dedicado a la captura de camarón en la región de Bahía Magdalena.





Tabla 5	. Población	dedicad	la a la	activida	d pesqu	iera se	egún t	tipo
	de organi	zación,	1999.	Fuente: 1	NEGI	(2000)	)	

	Sector	1983	1999
Social:	Cooperativas	50.0	81.2
Privado:	Particulares	39	7.6
	Paraestatales	11	

**Evaluación social de la pesquería.** La pesca de camarón se lleva a cabo en embarcaciones menores (7 metros de eslora) utilizadas también para la pesca ribereña. Una embarcación de este tipo genera únicamente dos empleos directos, el capitán de la embarcación y un ayudante, y promueve la creación de hasta cuatro empleos indirectos en tierra como por ejemplo operadores en línea para empaque, obreros, choferes y personal administrativo (García-Martínez 2005).

En la región de Bahía Magdalena operaron, durante la temporada de pesca 2004/2005, ciento setenta embarcaciones menores, de las 450 que se tienen registradas para la captura de camarón café. La flota ribereña capturó en esta temporada 97 toneladas de producto, lo que generó utilidades de hasta \$ 4 millones de dólares (\$ 44.5 millones de pesos) y 340 empleos directos (García-Martínez 2005). Esta pesquería, junto con la industrialización del atún y la sardina, es la que controla y conduce la economía de Puerto San Carlos, por lo que es necesario implementar estrategias sostenibles de manejo que produzcan los mayores beneficios socioeconómicos de esta actividad en la región.

Para la evaluación social y económica de la pesquería de camarón se utilizó una base de datos sobre captura de camarón café y esfuerzo de pesca para Bahía Magdalena, de la temporada de pesca 1990/1991 al 2000/2001. La información utilizada incluye también ingresos y costos por viaje de pesca. Adicionalmente, se estimaron los parámetros de la dinámica poblacional del camarón café. Entre estos se incluye la tasa de crecimiento (K), tasa de mortalidad natural (M), la longitud asintótica (L,), el tiempo hipotético al cual el organismo tiene longitud cero (t<sub>a</sub>). Además se utilizaron los valores del factor de condición (a) y el exponente (b) de L de la relación pesolongitud respectivamente, datos sobre la edad de primera captura y sobre la longevidad de la especie. Los valores obtenidos fueron utilizados como "valores semilla" en el modelo de simulación de edad estructurada de pesquerías FISMO (FIsheries Simulation Model) propuesto por Chávez (2005). Con los datos de crecimiento se hizo una clave de edad-longitud para convertir los datos de captura a número de individuos por grupo de edad los cuales se integraron en el modelo. El uso del FISMO permitió evaluar los niveles óptimos de captura en función de los objetivos de manejo, así como los niveles de mortalidad por pesca (F) que deban aplicarse en cada caso (García-Martínez 2005).

Se estimó que en el nivel de rendimiento máximo sostenible (RMS) se puede obtener una captura anual de 596.6 toneladas de camarón café en la región de BM, con el cual se podrían generar utilidades anuales de cerca de \$10 millones de dólares (\$110 millones de pesos). Por otro lado, la estimación del nivel de rendimiento económico máximo sostenible (REMS) indica que se podría alcanzar una captura anual de 640 toneladas de camarón café y producir utilidades anuales de \$10.8 millones de dólares (\$118 millones de pesos) (Fig. 3a). Utilizando el mismo modelo se estima que podrían operar anualmente en la región 215 embarcaciones menores (26.7 % más que la temporada 2004/05), lo que generaría 430 empleos directos, pero sería necesario desarrollar la infraestructura necesaria para captar los 1,720 empleos indirectos que pueden crearse (García-Martínez 2005) (Fig. 3b).

En estas condiciones se alcanzarían los beneficios, económico y social, máximos que esta pesquería puede generar en la región y que serían captadas por la economía local. Esto es importante debido a la necesidad de ofrecer a los habitantes de las comunidades de la zona mejores alternativas para incrementar sus ingresos económicos. A la fecha existen en Puerto San Carlos una cooperativa y una empresa privada que emplean choferes, obreros y técnicos para procesar camarón descabezado. El incrementar el valor agregado del producto promueve la generación de empleos indirectos, lo cual tiene un efecto positivo en la economía de Puerto San Carlos. Cabe mencionar que el valor comercial de una tonelada de camarón mediano (120 a 170 milímetros) en el mercado internacional de pescados y mariscos, después de agregarle valor al producto, es de \$10 mil USD (\$107 mil pesos) mientras que una tonelada de camarón grande (U8 – U7, mayores de 200 milímetros) puede alcanzar un valor de hasta \$22 mil USD (\$235 mil pesos) (García-Martínez 2005).

#### **DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES**

Factores como la ocupación, el ingreso mensual, el nivel de educación escolar y la distribución de las clases de edad en Puerto San Carlos y áreas circunvecinas, explican el impacto que pueden tener las estrategias de manejo implementadas el gobierno federal. Dichas estrategias pueden disminuir el ingreso per capita o fomentar cambios en la ocupación de las personas.

Aunque el salario que percibe la población económicamente activa en Puerto San Carlos, suele ser más alto que el salario mínimo mensual en el municipio, este no alcanza para cubrir las necesidades básicas de una familia (principalmente pescadores), esto se traduce en un fuerte incentivo para continuar explotando (incluso mas aya de las cuotas permitidas) los recursos naturales de la región de Bahía Magdalena.

Otro factor que incide en el aumento en el grado de explotación de los recursos naturales es la estructura de edad de la población de Puerto San Carlos. La mayoría de los residentes tienen menos de cincuenta años y la proporción entre hombres y mujeres es de 5:3. Esto indica que la mayoría de la población de esta localidad son



Fig. 3. Estimación de los potenciales de las capturas de camarón café, utilidades, número de embarcaciones y número de empleos directos e indirectos estimados para la pesquería de Bahía Magdalena. Utilizando el modelo de simulación (FISMO), bajo diferentes niveles de mortalidad por pesca (F) y manteniendo la edad de primera captura en seis meses

(A) Rendimiento Máximo Sostenible (línea continua) que produce 596.6 toneladas de camarón y utilidades de 10 millones de dólares. Rendimiento Económico Máximo Sostenible (línea discontinua) genera 10.8 millones de dólares con una captura de 640 toneladas de producto

(B) El número máximo de embarcaciones menores operando es de 215 (línea continua). El número máximo de empleos directos generados por la pesquería es de 430 (línea punteada con cuadros) y de 1720 empleos indirectos (línea punteada con triángulos) personas en edad de trabajar, los cuales se integran a la población económicamente activa cada año de manera creciente.

Los camarones peneidos son uno de los principales objetivos del sector pesquero en la bahía. Sin embargo, el sector pesquero de la región de Bahía Magdalena presenta deficiencias que han dado como resultado que no se aproveche el potencial productivo de esta región. Aplicando los resultados del modelo de simulación se propone que, para evitar la sobre-explotación del recurso camarón, el esfuerzo pesquero anual no debe ser mayor a 215 embarcaciones menores. Considerando este número de embarcaciones, se garantizaría tanto el rendimiento máximo sostenible (RMS), como el rendimiento económico máximo sostenible (REMS) y se alcanzarían niveles de producción y de utilidades que harían rentable la captura de camarón. Estos niveles de rendimiento y de esfuerzo pesquero puede generan beneficios socioeconómicos importantes en las comunidades pesqueras de la región. Es necesario considerar que la disponibilidad, la abundancia y la distribución del recurso camarón en la región de Bahía Magdalena están siendo influenciadas, continuamente por procesos oceanográficos, atmosféricos y ecológicos, además del esfuerzo pesquero.

El sector pesquero en Bahía Magdalena se concentra en pocas especies con alto valor comercial, como el camarón, la langosta y en los últimos años diferentes tipos de almejas (chocolata, catarina y generosa). No obstante en términos de volumen de captura, existen otras pesquerías de importancia como la de sardina, y jaiba entre otras. Lo anterior juega un papel relevante tanto en las fluctuaciones de la demanda de mano de obra, como en el número de empleos que generan las actividades ligadas a la pesca en esta región.

Es importante mencionar que la pesquería de camarón causa impactos sobre la zona bentónica y sobre especies bentónicas que son consideradas como fauna de acompañamiento. Se sugiere el estudio de dichos impactos, habiendo quedando estos fuera del presente trabajo.

La información que maneja el gobierno municipal de Comondú indica que la mayoría de la gente en la localidad completó únicamente la educación primaria. Lo anterior limita las probabilidades de las personas para encontrar un trabajo fuera del sector pesquero. Con un analfabetismo menor y con un nivel educativo mayor (secundaria y /o preparatoria) en esta localidad, es posible que la intensidad de explotación de los recursos pesqueros pudiera disminuir. Esto debido a que la población tendría mayor capacidad de incorporar la información sobre las consecuencias de la sobreexplotación de los recursos naturales en la región de Bahía Magdalena (García-Martínez 2005).

En la actualidad, la economía de Puerto San Carlos depende de manera significativa del sector pesquero. Y por ende de la captura de especies de camarones peneidos, y de otros recursos pesqueros como sardinas, bivalvos y especies de escama. Si la población de pescadores que forman parte de la PEA continúa creciendo con la misma tendencia, el uso de recursos naturales podría llegar hasta un nivel no sostenible. Un mejor entendimiento de los factores demográficos y socioeconómicos de Puerto San Carlos y otras comunidades pesqueras en la bahía, ayudará a la implementación de estrategias para el manejo sostenible de las pesquerías en Bahía Magdalena.

#### LITERATURA CITADA

- Aguilar-Ramírez DA, Seeffó-Ramos A, Sánchez-Palafox A, Balmori-Ramírez D, Acal-Sánchez A, Flores-Santillán M (1999) Modificación de una red de arrastre para la captura selectiva de camarón en zonas costeras con embarcaciones menores. Instituto Nacional de la Pesca, Reporte interno
- Armada de México (1999) Desarrollo urbano de Puerto San Carlos, Baja California Sur, evaluación correspondiente. Armada de México, Segunda Región Naval. 25 de octubre de 1999
- Centro Estatal de Información (2002a) Baja California Sur a través de sus regiones y micro regiones. Tomo I-Población. Tercer informe de gobierno, gobierno del estado de Baja California Sur, documento complementario. XII Censo de Población y Vivienda 2000. Gobierno del Estado de Baja California Sur, Centro Estatal de Información. La Paz, BCS, 15 de marzo del 2002
- Centro Estatal de Información (2002b) Baja California Sur a través de sus regiones y micro regiones. Tomo XI - Empleo. Tercer informe de gobierno, gobierno del estado de Baja California Sur, documento complementario. XII Censo de Población y Vivienda 2000. Gobierno del Estado de Baja California Sur, Centro Estatal de Información. La Paz, BCS, 15 de marzo del 2002
- Centro de Estudios Costeros (2003) Proyecto de investigación "La pesquería de camarón café en Bahía Magdalena", dirigido por el M.C. Salvador García-Martínez. The School for Field Studies–Center for Coastal Studies, semestre de primavera
- Chávez EA (2005) FISMO: A generalized fisheries simulation model. En: Kruse GH., VF. Gallucci, DE. Hay, RI. Perry, RM. Peterman, TC. Shirley, P.D. Spencer, B. Wilson, D. Woodby (eds.). Fisheries assessment and management in data-limited situations. Alaska Sea Grant College Program, University of Alaska Fairbanks, p 659-681
- Cortés-Ortiz AA, Ponce-Díaz G, Ángeles-Villa M (2006) El sector pesquero en Baja California Sur: un enfoque de insumoproducto. Región y Sociedad, XVIII:107–129
- De la Rosa-Pacheco R, Esparza-Carvajal LE, López-Ferreira C, Porras-Cisneros J, González-Espinosa O, Bastida-Clemente M, Ceceña-Espinoza N, Méndez-Castro P, Romero-Higuera M (1998) Pruebas técnicas de pesca de redes de enmalle tipo japonés (Genjiki-Ami) para la captura de camarón en zonas profundas de Bahía Magdalena, Baja California Sur, México, 1997. Informe técnico, Centro Regional de Investigación Pesquera, La Paz, Baja California Sur
- Delegación Municipal de Puerto San Carlos (2001) Municipio de Comondú, Delegación Municipal de Puerto San Carlos, Gobierno Municipal de Comondú, Baja California Sur. Comunicación personal
- Delegación Municipal de Puerto San Carlos (2004) Municipio de Comondú, Delegación Municipal de Puerto San Carlos, Gobierno Municipal de Comondú, Baja California Sur. Comunicación personal

Delegación Municipal de Puerto San Carlos (2007) Municipio

de Comondú, Delegación Municipal de Puerto San Carlos, Gobierno Municipal de Comondú, Baja California Sur. Comunicación personal

- Diario Oficial de la Federación, México (1992a) Ley Federal de Pesca y su Reglamento, 25 de junio de 1992
- Diario Oficial de la Federación, México (1992b) Ley Federal de Pesca y su Reglamento, 21 de julio de 1992
- Diario Oficial de la Federación, México (1993) Norma Oficial Mexicana NOM-002-PESC-1993 para ordenar el aprovechamiento de las especies de camarón en aguas de jurisdicción federal de los Estados Unidos Mexicanos. 31 de diciembre de 1993
- Diario Oficial de la Federación, México (1994) Norma Oficial Mexicana NOM-009 PESC 1993, que establece el procedimiento para determinar las épocas y zonas de veda para la captura de las diferentes especies de la flora y fauna acuáticas, en aguas de jurisdicción federal de los Estados Unidos Mexicanos. 4 de marzo de 1994
- Diario Oficial de la Federación, México (2000) Anexo del acuerdo por el que se aprueba la Carta Nacional Pesquera publicado el 17 de agosto de 2000. 28 de agosto de 2000
- Escalante-Cervantes FJ (2004) Federación Regional de Sociedades Cooperativas de la Industria Pesquera y Acuícola "Las 3 Bahías", A. C., Presidente de administración. Puerto San Carlos, Baja California Sur. Comunicación personal
- García-Borbón A, Balart EF, Gallo JJ, Loreto-Campos PA (1996) Pesquería de camarón. En: Casas-Valdez M. & G. Ponce Díaz (eds) Estudio del Potencial Pesquero y Acuícola de Baja California Sur. Gobierno de Baja California Sur, FAO, UABCS, CIB, CICIMAR, p 187-206
- García-Borbón JA, Loreto-Campos PA (1998) Temporada de captura 1997-1998: Pesquería de camarón en aguas protegidas. Secretaría de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca, Instituto Nacional de la Pesca. Centro Regional de Investigación Pesquera. La Paz, Baja California Sur, México
- García-Borbón JA, Loreto-Campos PA, Sáenz-Martínez P (1998a) Temporada de captura de camarón de alta mar 1997-1998 en la costa occidental de Baja California Sur, México. Boletín Pesquero CRIP-La Paz, 8:5-17
- García-Borbón JA, Loreto-Campos PA, De la Rosa-Pacheco R (1998b) Muestreo biológico de camarón en el sistema Bahía Magdalena-Almejas, Baja California Sur, septiembre 1997. Temporada de captura 1997-1998, pesquería de camarón de aguas protegidas. Instituto Nacional de la Pesca, Centro Regional de Investigación Pesquera, La Paz, Baja California Sur
- García-Martínez S (2005) Análisis de estrategias para el manejo sostenible de la pesquería de camarón en Bahía Magdalena, Baja California Sur. Tesis de Doctorado. Universidad Autónoma de Baja California Sur, La Paz, BCS
- García S, Le Reste L (1981) Life cycles, dynamics, exploitation and management of coastal penaeid shrimp stocks. FAO Fish Tech Paper 203.
- Gobierno de Baja California Sur (1983) Plan de Desarrollo Urbano, Puerto San Carlos, Municipio de Comondú, versión abreviada II. Dirección de Planificación y Urbanismo, Gobierno del Estado de Baja California Sur con asesoría técnica de la Subsecretaría de Asentamientos Humanos y Obras Públicas y la Dirección General de Centros de Población
- Gobierno del Estado de Baja California Sur (2005) Plan Estatal de Desarrollo 2005–2011, Gobierno Constitucional del Estado de Baja California Sur
- Hardin G (1968) The tragedy of the commons. Science 162:1243-1248
- Hernández-Carballo A, Macías E (1994) La pesquería de camarón en aguas protegidas, Pacífico de México. Pesquerías

Relevantes de México, XXX Aniversario del INP. Secretaría de Pesca, México

- INEGI (1990) Baja California Sur, cuaderno de información para la planeación. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática, México
- INEGI (1993) Anuario estadístico del estado de Baja California Sur, Edición 1992. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática, México. Gobierno del Estado de Baja California Sur, Comité de Planeación para el Desarrollo del Estado (COPLADE)
- INEGI (1996) Anuario estadístico del estado de Baja California Sur, Edición 1996. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática, México. Gobierno del Estado de Baja California Sur, Comité de Planeación para el Desarrollo del Estado (COPLADE)
- INEGI (1997) Baja California Sur, Conteo de Población y Vivienda 1995. Perfil Sociodemográfico. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática, México
- INEGI (2000) Anuario estadístico del estado de Baja California Sur, Edición 2000. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática, México. Gobierno del Estado de Baja California Sur, Comité de Planeación para el Desarrollo del Estado (COPLADE)
- INEGI (2001) Tabulados básicos nacionales y por entidad federativa. Base de datos y tabulados de la muestra censal. XII Censo General de Población y Vivienda, 2000. México, 2001
- INEGI (2005) Salarios mínimos por estado. Comisión Nacional de Salarios Mínimos, Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática, México
- Municipio de Comondú (1999) Dirección de Desarrollo Económico, Gobierno Municipal de Comondú, Baja California Sur. Comunicación personal

- SAGARPA (2000) Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Acuacultura. 2000. Anuario Estadístico de Pesca
- SAGARPA (2001) Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Acuacultura. 2001. Anuario Estadístico de Pesca
- SAGARPA (2004) Oficina Federal de la Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Acuacultura. Puerto San Carlos, Baja California Sur. Comunicación personal
- Sánchez-Palafox AD, Aguilar-Ramírez A, Flores-Santillán M, Acal-Sánchez A, Seeffó-Ramos A (1999) Evaluación biotecnológica de la red de arrastre denominada Ala de Angel para la captura de camarón café en el sistema lagunar de Bahía Magdalena-Bahía Almejas, BCS. Nov-Dic 1998. Instituto Nacional de la Pesca, Reporte interno. México
- SEMARNAP (1995) Secretaría de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca. Anuario Estadístico de Pesca, 1995
- SEMARNAP (1997) Secretaría de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca. Anuario Estadístico de Pesca
- Sociedad de Historia Natural Niparajá (1998) Diagnóstico ambiental de Baja California Sur. Sociedad de Historia Natural Niparajá, A. C., Universidad Autónoma de Baja California Sur y Fundación Mexicana para la Educación Ambiental, A. C.. Taller de Artes Gráficas de la Universidad Autónoma de Baja California Sur
- Secretaría de Promoción y Desarrollo Económico (2006) Diagnóstico económico y social de Puerto San Carlos, BCS. Dirección de Financiamiento para el Desarrollo Económico y Social. Gobierno del Estado de Baja California Sur
- Vidali-Carbajal C (1994) La Comercialización del Camarón. En: Pesquerías Relevantes de México, XXX Aniversario del INP. Secretaría de Pesca, México. Edición en disco compacto

García–Martínez S, Chávez–Ortiz EA (2007) La pesquería de camarón en Puerto San Carlos, Bahía Magdalena: una perspectiva socioeconómica. En: Funes-Rodríguez R, Gómez-Gutiérrez J, Palomares-García R (eds) Estudios ecológicos en Bahía Magdalena. CICIMAR-IPN, La Paz, Baja California Sur, México, p 277-287

# Evolución de la investigación científica en el complejo lagunar Bahía Magdalena-Almejas

Alejandro Hinojosa–Medina<sup>\*</sup>, René Funes–Rodríguez, Gerardo Aceves–Medina, Jaime Gómez–Gutiérrez

Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas. Av. IPN s/n, Col. Playa Palo de Santa Rita, A.P. 592, La Paz, Baja California Sur, C.P. 23096, México

RESUMEN: Se presenta el esfuerzo y estado actual del conocimiento científico que podrá ser utilizado como un resumen de información disponible en la planificación de la investigación, manejo y bioconservación del complejo lagunar Bahía Magdalena-Almejas. Se identificaron las publicaciones más relevantes clasificadas por áreas del conocimiento (oceanografía química, física, geología, y biología) y por grupos taxonómicos (microalgas, macroalgas, zooplancton, peces, moluscos, crustáceos, mamíferos marinos y aves marinas) publicados originalmente para investigar aspectos de la taxonomía, biología, ecología, biogeografía, pesquerías y acuacultura regional. Esta revisión incluyó 338 referencias bibliográficas (desde 1934 a 2006) de las cuales 80% fueron publicaciones en artículos científicos, tesis, memorias de congresos e informes técnicos. Existe un mayor esfuerzo científico expresado en número de trabajos dedicados al estudio de peces, moluscos y plancton (60%). El incremento en número y periodicidad de las contribuciones científicas a finales de la década de los 70 está directamente asociada a la fundación de tres instituciones educativas y de investigación en el estado de Baja California Sur: Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste (CIBNOR) en 1975; Universidad Autónoma de Baja California Sur (UABCS); y el Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas (CICIMAR) ambas fundadas en 1976, entre otras.

PALABRAS CLAVE: Exploración · Publicaciones científicas · Complejo lagunar Bahía Magdalena- Almejas · Baja California Sur

ABSTRACT: We expose the evolution and current status of the scientific knowledge of Bahía Magdalena-Almejas complex lagoon. This information could be used as base line for future research, management and bioconservation efforts. The most relevant scientific publications were identified and categorized by knowledge areas (chemical, physical, geological, and biological oceanography); and by relatively high rank taxonomic groups (microalgae, macroalgae, zooplankton, fishes, mollusks, crustaceans, marine mammals, and marine birds) in studies originally conducted to know taxonomy, biology, ecology, biogeography, fisheries and aquaculture. From 338 references published so far since 1934 to 2006, scientific articles, thesis proceedings and technical reports accounted for about 80 % of the total included in this review. About 64% of the published articles have been done to investigate fishes, mollusks and plankton. The abrupt increase in number of the scientific contributions at the end of the 70's decade was directly associated to the foundation of three local educational and investigation institutions in Baja California Sur: Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste (CIBNOR) in 1975; Universidad Autónoma de Baja California Sur (UABCS); y el Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas (CICIMAR) both founded in 1976, among others.

KEY WORDS: Exploration  $\cdot$  Scientific articles  $\cdot$  Bahía Magdalena-Almejas Complex Lagoon  $\cdot$  Baja California Sur

#### INTRODUCCIÓN

El complejo lagunar de Bahía Magdalena-Almejas se encuentra localizado en el Pacífico Oriental en un área de transición templado-tropical, cuya ubicación geográfica y explotación de sus recursos ha propiciado el interés creciente desde las primeras exploraciones realizadas por navegantes españoles e ingleses en el siglo XVI. Bahía Magdalena, es uno de los ecosistemas marinos de mayor biodiversidad, productividad e importancia económica pesquera en el estado de Baja California Sur, designado en 1998 como la región marina prioritaria número 4 por la Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO) (http:// www.conabio.gob.mx/) y, en 1996-1997 fue designada como área de conservación de aves (AICA) (http:// conabioweb.conabio.gob.mx/aicas/doctos/aicas.html). Los bosques de manglares, marismas, esteros, barras arenosas, zonas rocosas, islas y extensas dunas insulares hacen de ésta, un escenario extraordinario que atraen a un gran número de visitantes nacionales y extranjeros. Bahía Magdalena (Puerto López Mateos y Puerto San Carlos) es uno de los sitios más frecuentemente visitados por observadores de la ballena gris (Eschrichtius robustus) durante su extensa migración invernal (enero a marzo) desde el Mar de Bering y Alaska, y de aves marinas residentes y/o migratorias que llegan a sus aguas protegidas como parte de su ciclo biológico. Los vientos predominantes de la región son del Noroeste la mayor parte del año, propiciando condiciones de elevados niveles de nutrientes que favorecen altas concentraciones de fitoplancton y consecuentemente la transmisión de energía a niveles tróficos superiores que son altamente productivos, aparentemente desde al menos hace 3000 años (Sánchez & Carriquiri 2007). En esta región se mezclan las biotas de afinidad templado-tropical favorecidas por la dinámica espacio-temporal de dos corrientes marinas que fluyen a lo largo de la zona nerítica adyacente a la bahía y parte oceánica; una de características templada-subártica denominada como la Corriente de California con flujo predominantemente hacia el ecuador y una corriente cálida con dirección hacia el polo, con amplias variaciones de intensidad a lo largo del año (Hickey 1979, Lynn & Simpson 1987, Moser et al. 1987).

En términos prácticos, el esfuerzo de investigación en el complejo lagunar Bahía Magdalena-Almejas sería imposible de analizar y discutir, sin considerar algunos eventos históricos que han propiciado el conocimiento multidisciplinario generado en la región. Esto es debido a que históricamente las actividades de exploración e investigación científica están estrechamente relacionadas a intereses socio-económicos, políticos y humanísticos. Desde tiempos inmemorables esta región ha sido visitada y codiciada por gobiernos extranjeros, exploradores, flotas balleneras y aventureros.

Desde la conquista de la Nueva España y después de tres expediciones fallidas de Hernán Cortés por el Pacífico, Francisco de Ulloa en 1539 fue posiblemente el último designado por los reyes de España para realizar exploraciones en la región occidental de la península de Baja California y posiblemente el primero en navegar la extensa bahía, a la que llamó Santa Catalina (Hayes 2001). Sus descubrimientos forman parte de las contribuciones de exploración más relevantes para el conocimiento geográfico bajacaliforniano.

En marzo de 1602, el Virrey Conde de Monterrey, Don Gaspar Zúñiga y Acevedo, nombró General a Sebastián Vizcaíno para dirigir la exploración del litoral Californiano, en busca de puertos de refugio para el Galeón de Manila, también llamado la *Nao de la China*. En su expedición científica por la península, navegó por sus esteros, canales y lagunas, información con la que Enrico Martínez y el cartógrafo Jerónimo Martín Palacios elaboraron un plano con los datos aportados por los expedicionarios, que daba la impresión de poder establecer en Bahía Magdalena, el tan buscado puerto en esta inhóspita y árida región del Noroeste de México (Hayes 2001).

A partir de la anexión a los Estados Unidos de América de gran parte del territorio mexicano (Texas en 1845 y mediante el tratado de Guadalupe Hidalgo en 1848 Alta California, Nevada, Utah, Colorado, Arizona y Nuevo México), algunos barcos mercantes de esta nación, efectuaban constantes actos de piratería de recursos como la almeja gigante y magnesita (un mineral muy apreciado en la industria siderúrgica, farmacéutica y militar) en territorio de Baja California, entonces relativamente poco poblada, incluyendo el complejo lagunar de Bahía Magdalena-Almejas.

En 1864, el complejo lagunar de Bahía Magdalena-Almejas fue incluido dentro de la concesión de Leese, otorgada por el gobierno, del entonces presidente de México Benito Juárez. Sin embargo, incapaz de cumplir los acuerdos asignados por el gobierno de México, Leese transfirió sus derechos a la Lower California Co., quien trató de establecer una colonia en el vasto territorio, mediante la inmigración de cientos de colonos que fueron traídos engañados y explotados para la extracción de la orchilla, utilizada en la industria de tintes textiles. Más tarde, el gobierno Mexicano extendió esta concesión por seis años más (1866-1872), desde Cabo San Lucas hasta cerca del paralelo 27° N, lo que originó la apertura de puerto San Carlos en Bahía Magdalena, para el tráfico marítimo de altamar. Posteriormente, el gobierno de México recuperó las tierras como parte del territorio de la Baja California, debido a que la compañía Lower California Co., tampoco cumplió cabalmente con el acuerdo, al no poder mantener el número de colonos acordados en el término de los años convenidos (Ponce-Aguilar 2004).

Entre 1902 y 1920, barcos de la armada de Estados Unidos de Norte América invadieron la bahía, llevando a cabo en incontables ocasiones, maniobras militares que violaban la soberanía nacional mexicana, a lo que el gobierno de México respondió diplomáticamente cerrando sus fronteras. Particularmente en marzo de 1902, la armada de Estados Unidos comenzó una insistente presión política para obtener el traspaso de Bahía Magdalena y el presidente de México, Porfirio Díaz, fue quien aceleró la construcción del faro en Isla Margarita. A pesar de esta medida diplomática, continuaron sin cambios las actividades de la flota americana, hasta que el gobierno Mexicano estableció en 1934 una base naval en Puerto Cortés, que se encuentra ubicada en la parte interior de Isla Margarita, en Bahía Almejas, para proteger la soberanía nacional de relevancia estratégica y económica para México (Rodolfo-Palacios, http:// www.angelfire.com/bc3/domingosaiza/faroensayo.html).

El desarrollo económico de esta región se aceleró con la creación en 1967, en Puerto San Carlos, de un muelle de alta mar, hasta entonces el más importante en el territorio de Baja California Sur, donde actualmente se encuentra una planta de energía eléctrica (CFE) y que es

escenario de embarque y tráfico marítimo de la producción agrícola del Valle de Santo Domingo, hacia diferentes partes de México y el mundo. Esta bahía es frecuentemente navegada por barcos de carga, cruceros turísticos, yates y barcos de pesca que pueden ser observados como parte de las actividades del puerto. Otro puerto instalado en la región del complejo lagunar de Bahía Magdalena es el poblado de López Mateos, al norte de la zona de canales. A principios del siglo XX cuando existía una planta empacadora de peces pelágicos en Puerto San Carlos, el poblado contaba con ingresos económicos significativos; adicionalmente los pescadores explotaban exitosamente la langosta, abulón y diversas especies de escama. En aquel entonces, también estaba en operación una mina fosfórica. Aunque actualmente toda esta actividad minera está abandonada, los habitantes continúan ejerciendo el oficio probablemente más antiguo de esa población: la pesca. Sus aguas ricas en especies de pesca comercial y artesanal, como la sardina, camarón, jaiba, tiburón, rayas, corvina, huachinango, cabrilla, lenguado, almejas, son parte de esta riqueza biológica gran parte de ellas extraídas desde sus primeros pobladores en la región.

El conocimiento científico, como cualquier actividad humana, evoluciona con el tiempo; las primeras observaciones geológicas y descripciones de organismos de esta región, probablemente provienen de observadores naturalistas a bordo de los cruceros realizados por exploradores europeos, particularmente españoles e ingleses. Posteriormente investigadores de Estados Unidos de Norte América siguieron esta actividad de exploración, como parte de esas intrusiones, al entonces territorio Mexicano y posteriormente a través de investigaciones realizadas por instituciones de ese país. A este último corresponde un gran programa de investigación denominado CalCOFI, dirigido a conocer los procesos oceanográficos y el tamaño poblacional de peces pelágicos menores en la Corriente de California, Scripps Institution of Oceanography. Este programa realizó un gran esfuerzo de monitoreo oceanográfico mensual (1951-1960), mismo que fue reemplazado por una periodicidad estacional (1961-1965), y posteriormente por muestreos efectuados cada tres años (1966-1981) entre California y la península de Baja California, incluyendo la parte oceánica adyacente de Bahía Magdalena desde su inicio hasta finales de los 70 (Moser et al. 1988, http://www.calcofi.org/data/climatology/ climate2.htm). En estos estudios, se estableció la afinidad biogeográfica de gran cantidad de organismos planctónicos, siendo reconocida de manera general, a la región de Bahía Magdalena como una zona transicional templado-tropical, de acuerdo a la naturaleza biogeográfica de las especies del plancton en la región del sistema de la Corriente de California. (Alvariño 1964, Brinton 1962, Loeb et al. 1983, Mc Gowan 1971, Moser et al. 1987).

Los estudios pioneros realizados por investigadores Mexicanos en Bahía Magdalena fueron realizados a principios de la década de los 70, por investigadores del Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada (CICESE), y la Universidad Autónoma de Baja California (UABC) y el sector gubernamental, de la entonces Secretaría de Pesca. Los investigadores de cada una de estas instituciones, fortalecieron la investigación de un amplio conocimiento de los mares mexicanos, para explorar el potencial de aprovechamiento pesquero; estimulado por la necesidad de contar con un marco ambiental de referencia y de las especies presentes en el complejo lagunar.

Otro momento crucial desde los inicios de la investigación científica fue resultado de la transformación del Territorio de Baja California, a estatus de Estado de Baja California Sur, por el Gobierno del Presidente Luís Echeverría (1975). Con toda esta dinámica política de cambio y esta nueva asignación, en la cual, el Estado debía tener instituciones comprometidas para resolver los problemas estatales de pesca y conservación de hábitat, se fundaron en menos de dos años tres instituciones gubernamentales: (1) Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste (CIBNOR, entonces denominada simplemente CIB) fundado en 1975, (2) Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas del Instituto Politécnico Nacional y (3) Universidad Autónoma de Baja California Sur, ambas instituciones fundadas en 1976.

A su vez, varias iniciativas de investigación han tenido un profundo impacto en la generación de conocimiento científico del complejo lagunar. Por ejemplo, el Departamento de Plancton y Ecología Marina (CICIMAR) a través de un programa multi-anual de muestreo mensual (cruceros BAMA) de 1980 a 1989, que fue interrumpido hasta 1997-1998, y actualmente se mantiene con muestreos de mayor periodicidad y menor frecuencia, desde el 2000. Aunado a esto, en la década de los 80, el CICIMAR realizó 24 cruceros oceanográficos en la plataforma continental de Baja California, con énfasis en la región frente a Bahía Magdalena, a través de diversos proyectos de investigación a bordo del B/O El Puma (UNAM), con financiamiento principalmente asignado por el CONACyT-CFE. Entre 1993-2002, el monitoreo fue reiniciado por un programa que incluyó a 29 cruceros oceanográficos a bordo del B/O El Puma en la plataforma y boca de Bahía Magdalena, conducido por el Instituto de Ciencias del Mar y Limnología de la Universidad Nacional Autónoma de México (Programa Sistemas Marinos de Surgencias de Pelágicos menores, SIMSUP), con la participación investigadores del CICIMAR.

En 1997 se funda la Escuela de Campo de Humedales en Puerto San Carlos (http://www.fieldstudies.org/pages/ 1007\_mexico.cfm), impulsando la investigación local, en aspectos biológicos, económicos y sociales realizados por personal académico nacional y extranjero, como parte de un programa educacional para estudiantes de licenciatura, entre los que sobresalen investigaciones en ecología de manglares, telemetría y ecología de tortugas marinas, ecología de mamíferos marinos y estudios sociológicos regionales (Farell & Ollervides 2005). La continuidad del monitoreo entre 2002-2004, en esta ocasión fue dirigida para entender los procesos oceanográficos de la boca de Bahía Magdalena y plataforma continental adyacente al complejo lagunar, a

Desde inicios del siglo XXI, bajo el esquema de la globalización de la ciencia y los aspectos socioeconómicos y políticos, es fundamental detenerse a reflexionar, ¿Por que es necesario analizar la historia, evolución e incremento de la actividad científica de la bahía? La respuesta sería que la información científica permite comprender aquellos procesos naturales con beneficio social, económico y cultural, así como para identificar aquellas áreas de la ciencia, relativamente poco exploradas. Integrar esta información de manera accesible permite tener una perspectiva multidisciplinaria y holística, posiblemente servirá para ayudar a decidir cuales son hasta ahora, los procesos y recursos relativamente menos estudiados y hacia donde debe dirigirse el esfuerzo científico en el futuro. ¿Por que estudiar el pasado, haciendo uso de los eventos históricos para la planificación y toma de decisiones político, social y económicas?, simplemente por que no hay otro lado donde buscar. Organizar la información de manera retrospectiva permite plantear nuevas hipótesis, redireccionar la investigación e intentar nuevas estrategias de aproximación para tener una diferente visión o perspectiva de los procesos físicos, químicos, geológicos y biológicos, así como actividades humanas que actúan de manera multi-variada para dar forma a los ecosistemas marinos.

Un plan de manejo del ecosistema Bahía Magdalena, requiere de una aproximación integradora basada en ecosistemas que consideren las complicadas interacciones entre organismos y los procesos oceanográficos a diferentes escalas espacio-temporales y de como los efectos antropogénicos interactúan con el hábitat natural. En la actualidad, el número de contribuciones científicas de Bahía Magdalena ha ido en aumento, gracias a iniciativas de investigación multiinstitucionales que han propiciado el establecimiento y la consolidación de líneas de investigación más complejas y multidisciplinarias, en comparación a los estudios pioneros.

El objetivo del presente trabajo es integrar el estado de conocimiento científico del complejo lagunar Bahía Magdalena-Bahía Almejas, mediante el análisis del número relativo de publicaciones por área del conocimiento, o grupo taxonómico, para la adecuada comprensión de los procesos naturales, en beneficio de ser utilizado bajo el esquema de un manejo, sustentabilidad y bioconservación del ecosistema. A su vez se pretende detectar grupos potenciales y áreas del conocimiento con escaso grado de esfuerzo en la investigación.

#### MATERIAL Y MÉTODOS

La búsqueda bibliográfica fue realizada en las bibliotecas del Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas (CICIMAR), la Universidad Autónoma de Baja California Sur (UABCS), el Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste (CIBNOR), la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), la base de datos Cambridge Scientific Abstracts (CSA), base de datos Scopus, internet y con entrevistas a investigadores especialistas en cada campo de conocimiento. En el análisis se incluyó información publicada desde 1934 hasta el año de 2006 (aunque en la lista se incluyeron algunas publicaciones del 2007, pero excluyendo los capítulos comprendidos en el presente libro para evitar redundancia). Esta base incluye diversos trabajos publicados como: (1) artículo científico, (2) tesis, (3) memorias de simposio y congresos, (4) informe técnico, (5) libro, (6) capítulo de libro, (7) atlas, (8) artículo de divulgación y (9) promulgación de ley.

Las publicaciones se clasificaron de acuerdo a los campos de conocimiento general en oceanografía física, química, geológica y biológica. La información biológica fue subdividida por grupo taxonómico (peces, moluscos, crustáceos, etc.), o bien, toda la información también fue subdividida por disciplina de investigación (zooplancton, ictioplancton, bentos, oceanografía). La información publicada se analizó y reclasificó de acuerdo al ámbito de estudio, en consideración de una perspectiva de aplicación del conocimiento (biología general, acuacultura, genética, pesquería, ecología, taxonomía). La información fue graficada en una serie de histogramas para mostrar el número relativo de esfuerzo científico (relativo a número de publicaciones) para cada uno de los criterios de clasificación definidos. Es necesario establecer que la revisión bibliográfica intentó ser lo más exhaustivamente posible, pero es prácticamente imposible incluir toda la información existente, por lo que cabe la posibilidad de omisiones involuntarias de publicaciones y estudios realizados en el complejo lagunar de Bahía Magdalena-Bahía Almejas.

#### RESULTADOS

La figura 1 muestra un diagrama conceptual en orden cronológico, de los acontecimientos históricos más relevantes que han favorecido el origen, evolución y establecimiento de la investigación científica del complejo lagunar de Bahía Magdalena-Almejas, con énfasis en programas de monitoreo biológico y oceanográfico y de la identificación de trabajos pioneros en la investigación de algunas áreas del conocimiento. Hasta el año de 2007, el número de publicaciones encontradas en el área del complejo lagunar asciende a 338 trabajos. No obstante, este valor pudiera ser mayor, si se hubieran considerado artículos de cobertura geográfica más amplia, pero que incluyen muestras de Bahía Magdalena, por ejemplo citas como son Brusca & Wallerstain (1979) ó Pittman (1990). De tal forma que debido a la enorme complejidad de buscar, obtener y clasificar la información de estas características, no fueron incluidos en la presente revisión que hace referencia únicamente al complejo lagunar.

La publicación impresa más antigua encontrada del complejo lagunar de Bahía Magdalena-Almejas, es un


Fig. 1. Cronología histórica y científica en el complejo lagunar de Bahía Magdalena-Almejas y región nerítica-oceánica adyacente

informe sobre la evaluación de las aguas del subsuelo de la planicie de Baja California y parte norte de Bahía Magdalena (Vivar 1934). La segunda publicación fue en 1962, casi 30 años después, sobre los recursos pesqueros en el área, resultado de una investigación generada por Takasaki en 1913 (Chapa 1962), seguida de algunas publicaciones a finales de los años 60 y principios de los 70, con énfasis en la exploración de los recursos, su distribución, abundancia y potencial pesquero de la bahía, así como, de su hidrología. Sin embargo, es hasta mediados de la década de los 70, cuando las actividades de investigación comienza a mostrar resultados y un constante incremento de contribuciones científicas, a partir de la década de los 80 y 90 con la creación de los

Posgrados de CICIMAR, CIBNOR y la UABCS, así como de la fundación de la escuela de campo de Humedales en Puerto San Carlos y la Unidad CICESE La Paz, hasta la fecha (Figs.1,2).

De acuerdo al tipo de publicación, la proporción en número de contribuciones fue la siguiente: (1) artículos científicos en revistas arbitradas nacionales e internacionales; (2) tesis (33 tesis profesionales, 35 de maestría y 9 de doctorado); y (3) publicaciones en memorias de congresos. Solamente estas tres categorías constituyen aproximadamente el 86 % del total acumulado de la información. El material restante corresponde a (4) informes técnicos, (5) capítulos de libro, (6) atlas, (7) artículos de divulgación, (8) libros y (9) promulgación de leyes (Fig. 3). Es evidente que existe un mayor número de informes técnicos, sin embargo estos son de difícil obtención y acceso restringido, por lo que es comparativamente más sencillo localizar artículos en revistas indexadas caracterizadas por estar incluidas en la infraestructura de búsqueda en bases de datos impresa e Internet.

La información publicada de acuerdo a los distintos grupos, disciplinas de trabajo o campo de conocimiento, destaca el esfuerzo realizado en peces, moluscos, plancton y crustáceos, que en su conjunto acumulan aproximadamente el 70% del total de las publicaciones (Fig. 4).

A pesar de ser considerado el complejo lagunar como un santuario de mamíferos marinos y aves a nivel nacional e internacional, así como punto ecoturístico de observación de ballena gris durante su migración anual en invierno, el número de publicaciones identificadas es relativamente limitado (Fig. 4). Esto mismo ocurre en estudios de oceanografía física y química y así como, de



Fig. 2. Número de publicaciones científicas por (A) año y (B) acumulado para el complejo lagunar de Bahía Magdalena-Almejas, asociado con la creación de instituciones académicas y postgrados en Baja California Sur



Fig. 3. Número de trabajos por tipo de publicación



Fig. 4. Esfuerzo científico por campo de estudio en el complejo lagunar de Bahía Magdalena-Bahía Almejas

otros grupos y líneas de estudio, donde la producción científica es notablemente escasa (tortugas, manejo de recursos, geología, aspectos sociales, macroalgas, pastos marinos, bentos y manglares) (Fig. 4).

Las disciplinas de investigación detectadas en las publicaciones de cada uno de los grupos taxonómicos fueron: (1) Biología, (2) Pesquería, (3) Ecología, (4) Biogeografía, (5) Acuacultura, (6) Genética y (7) Taxonomía, de las cuales son las primeras tres categorías donde se ha realizado el mayor número de publicaciones científicas (Fig. 5). En el caso particular de peces, el mayor número de estudios es relacionado con aspectos biológicos, como ciclos reproductivos o análisis de crecimiento, seguido de estudios en pesquerías, ecología y biogeografía (Fig. 5A). En moluscos, de igual manera son más numerosos los trabajos sobre la biología autológica, seguidos de estudios en acuacultura, siendo en menor proporción los estudios pesqueros y ecológicos, aunque en este grupo se han realizado estudios genéticos en almeja catarina Argopecten ventricosus (Cruz-Hernández et al. 1998) (Fig. 5B). En zooplancton e ictioplancton, aquí considerados como disciplinas distintas, se han realizado estudios ecológicos principalmente, donde es posible identificar aspectos de su diversidad y estructura de la comunidad, distribución, abundancia y producción biológica, siendo en menor número los estudios de su biología, autoecología, taxonomía. En el caso particular del ictioplancton, los estudios han sido aplicados para evaluar los stocks pesqueros por medio de sus huevos y larvas de especies que son explotadas comercialmente (Fig. 5 C,E). En crustáceos micronectónicos y bénticos, los trabajos desarrollados han sido orientados al estudio de aspectos de su biología y pesquería, siendo relativamente poco el esfuerzo, en ecología, genética y acuacultura (Fig. 5D). En mamíferos, aves y tortugas los estudios son principalmente ecológicos y pocos abordan su biología y biogeografía (Fig. 5F,G,H).

La revisión bibliográfica por especie o grupo taxonómico, muestra la relevancia por el número de publicaciones a la sardina monterrey (Sardinops caeruleus) (Fig. 6A), de la cual se abordan aspectos de su biología y pesquería, sobresaliendo los trabajos de edad y crecimiento, estructura de tallas, análisis de capturas, ciclos reproductivos y aspectos ecológicos, como movimientos de stocks y la variabilidad ambiental. El siguiente grupo de peces con mayor número de contribuciones son las rayas (Fig. 6A), donde se aborda aspectos principalmente de su abundancia y biología reproductiva. En el caso de moluscos, la almeja catarina (Argopecten spp.) es la segunda especie mejor estudiada en el complejo lagunar, en cuanto a número de publicaciones. A esta le siguen el ostión y el abulón (Fig. 6B), contando con información de sus ciclos reproductivos, crecimiento, fijación y reclutamiento para su uso en acuacultura.

En zooplancton, el grupo frecuentemente estudiado corresponde al de los copépodos, donde se abordan aspectos de su taxocenosis e índices ecológicos, además de la relación entre su distribución y abundancia con la variabilidad ambiental, auque recientemente sobre las tasas de producción secundaria. Los estudios de la estructura de la comunidad del zooplancton ocupan el segundo lugar y en menor proporción, le siguen los quetognatos, eufaúsidos y decápodos, como larvas de la langostilla (Pleuroncodes planipes) y jaibas (Fig. 6C), aunque también existen estudios de algunos grupos de zooplancton que no son autóctonos, como eufáusidos que habitan entre la boca de Bahía Magdalena y la plataforma continental adyacente. En ictioplancton, los estudios son más numerosos en especies de peces pelágicos menores (Fig. 6D), con especial énfasis en la sardina monterrey (Sardinops caeruleus) y la sardina crinuda (Opisthonema spp.), de las cuales se tienen bien reconocidos sus periodos de reproducción y deriva larval, así como, de la caracterización del hábitat de desove, desarrollo larvario y tasas de crecimiento. Los engráulidos (anchovetas) han sido estudiados a nivel genérico, debido a la enorme complejidad para distinguir sus huevos y larvas, los cuales conforman un complejo multi-específico de al menos 8 especies conocidas como adultos a nivel regional. Otros estudios que son comunes, describen la estructura de la



Fig. 5. Número de contribuciones científicas por disciplina de investigación para cada grupo de estudio

comunidad del ictioplancton y de sus variaciones espaciotemporales, donde se establecen épocas y áreas reproductivas. Sin embargo, aún existe un notable desconocimiento taxonómico de los primeros estadios de muchas especies de origen tropical y subtropical, principalmente del grupo Percoidei, que pudiera ser una línea de investigación de interés, como ha sido la realización de investigaciones taxonómicas del lenguado *Achirus mazatlanus*, el mojarrón, *Calamus brachisomus* y cabrillas del género *Paralabrax* (Fig. 6D).

En el caso de los crustáceos, los camarones han sido sujetos del mayor esfuerzo en la investigación (Fig.6E), a través de publicaciones relacionados con su pesquería, biología autológica y aspectos técnicos, relacionados con artes de pesca, además de la composición específica de la fauna incidental durante su captura. La langostilla, (Pleuroncodes planipes), considerada como un organismos micronectónico en su fase juvenil y béntica en su fase adulta, es una especie que presenta extensas y densas agregaciones sobre la costa oeste de la península, con incursiones frecuentes en la parte profunda de las bahías del complejo lagunar sobre la cual se tienen estudios de su biología, ecología y potencial pesquero, además de su comportamiento, distribución y abundancia. Esta especie ha sido objeto de diversos estudios dirigidos por investigadores del Scripps Institution Oceanography y posteriormente por investigadores nacionales. Otros recursos con relativamente escaso conocimiento, a pesar de su alto valor comercial son la langosta y la jaiba (Fig. 6E), de las cuales se encuentran aspectos generales de su biología.

En el caso de las microalgas se distinguen dos grupos: (1) las planctónicas y (2) las bénticas (Fig. 6F), con estudios básicamente de carácter ecológico como son la estructura de la comunidad, sucesión taxonómica estacional e interanual, índices ecológicos, así como, de la relación con la variabilidad local ambiental. Es interesante resaltar que no existe hasta la fecha ninguna publicación de la estimación de la producción primaria del fitoplancton o fitobentos.

La ballena gris (*E. robustus*) ha sido la especie mas frecuentemente estudiada de los mamíferos marinos, los estudios abordan el conocimiento de su abundancia, dinámica poblacional e influencia socio-económica en la actividad ecoturística regional. En cuanto a las otras especies de mamíferos presentes, sólo una publicación fue encontrada (delfín *Tursiops truncatus*, foca *Phoca vitulina*, lobo marino *Zalophus californianus* y nutria *Enhydra lutris*) (Fig. 6G). En su conjunto, los aspectos ecológicos son los mejor estudiados y ocasionalmente son los de tipo biogeográfico (extensiones en distribución), hábitos de alimentación y sociales (ecoturismo).

En tortugas, la información publicada es muy reciente y en estrecha correspondencia con la fundación de la Escuela de Campo de Humedales en Puerto San Carlos, sin embargo, son pocos los trabajos publicados sobre tortugas de la región (Fig. 6H), a pesar de que la bahía es frecuentemente visitada como hábitat de alimentación, llegando con más frecuencia las tortugas prieta y perica, de las que se conoce además de sus hábitos de alimentación, histopatologías, parasitismo y evaluaciones del efecto de la pesca furtiva.

Aunque el complejo lagunar ha sido declarado como santuario de aves con cerca de 80 especies de aves registradas, son relativamente pocos los estudios ornitológicos de la región, excepción hecha de un trabajo reciente de una revisión exhaustiva de la avifauna (Zarate-Ovando et al. 2006). La información existente se enfoca en aspectos de la estructura de la comunidad, censos poblacionales y áreas de distribución, entre otros estudios autoecológicos de la tijereta, águila calva, águila pescadora, chorlito y gorrión (Fig. 6I).



Fig. 6. Número de contribuciones científicas por organismo en específico o el conjunto de ellos en cada grupo de estudio

Al respecto de publicaciones en oceanografía física, química y meteorología, se conocen estudios sobre dinámica e intensidad de las corrientes, fisicoquímica, biogeoquímica, eventos de surgencias, distribución horizontal y vertical de la temperatura, nutrientes y modelación numérica de la marea. Dentro de los cuales se reconoce la calidad y evolución propiciada por el avance tecnológico, mediante sensores continuos, CTD, fluorómetro, ADCP, que permiten dar un enfoque holístico de la dinámica del complejo lagunar (Sánchez-Montante 2004, Zaytsev et al. 2003, Gómez-Gutiérrez et al. 2006, entre otros), en contraste con los estudios pioneros.

# DISCUSIÓN

La evolución y desarrollo del conocimiento científico como elemento de transformación social, política, económica y cultural en el mundo contemporáneo, es indiscutible e implica una creciente necesidad de participar en su generación, apropiación y aplicación. Si bien, es cierto que el desarrollo científico por si mismo no garantiza como finalidad el bienestar colectivo, la diferencia entre los países que cuentan con mayor conocimiento científico, con respecto de aquellos que se han rezagado en la generación y aplicación del conocimiento, indiscutiblemente implica una diferencia en la calidad de vida de sus habitantes y el grado de deterioro de su hábitat.

La riqueza natural del complejo lagunar de Bahía Magdalena-Almejas, es de tal magnitud, que a partir de esta revisión y análisis de la bibliografía disponible, se pone de manifiesto el escaso número de trabajos que intentan establecer comparaciones entre el hábitat, especies y procesos oceánicos, con objeto de sintetizar y modelar el funcionamiento del ecosistema, como sería el caso de otros sistemas costeros (Chesapeake Bay), donde virtualmente han sido ampliamente estudiados (http:// www.chesapeakebay.net/about.htm). En este sentido, se identifica que la falta de interacción en los estudios que abordan el sistema lagunar, ha dependido en gran medida de la consolidación de grupos de trabajo y de forma particular, la falta de interés por hacer pública la información de manera frecuente. En contraparte, el mayor número de trabajos y formación de recursos humanos (tesis) corresponde al grupo y línea de investigación de peces en todas sus fases de vida; aunado a un interés socioeconómico sobre el recurso sardina que ha sido pescado comercialmente desde la década de los 70.

En el estado de Baja California Sur, el complejo lagunar Bahía Magdalena-Almejas es posiblemente la región con mayor impacto pesquero, misma que cuenta con alguna infraestructura (6 embarcaciones y 2 plantas empacadoras). Debido a su impacto económico pesquero, gran parte del esfuerzo de investigación se ha dirigido al estudio del complejo multi-específico de peces pelágicos menores. De manera particular, el CICIMAR (cuatro departamentos) ha contribuido principalmente al estudio de los pelágicos menores, bajo un marco de referencia conceptual para estudiar el hábitat físico, químico y biológico de Bahía Magdalena y los mares que rodean la península de Baja California Sur, manteniendo hasta ahora un porcentaje mayoritario de publicaciones. El Departamento de Plancton y Ecología Marina del CICIMAR, estableció un plan de monitoreo mensual con el fin de evaluar la biomasa reproductora de la sardina y anchoveta. El programa de muestreo permitió la conformación de la serie de tiempo de temperatura, biomasa zooplanctónica y diversos componentes del plancton, con énfasis en huevos y larvas de peces pelágicos menores. Esta base de datos constituye la serie de tiempo más larga del complejo lagunar, a partir de la cual se desarrollaron algunas de las primeras tesis de licenciatura, posgrado y publicaciones durante la década de los 80. Esto también se ve reflejado en el número creciente de publicaciones, en el rubro de los diferentes constituyentes del plancton que conforman un alto porcentaje de la información generada.

Es importante señalar que debido a la gran extensión del litoral Sudcaliforniano, las actividades de investigación realizadas por especialistas y/o instituciones han sido evidentemente dispersas. En este aspecto, la colaboración de proyectos de investigación multidisciplinarios y la participación interinstitucional es el mayor reto, siendo relativamente escasos los trabajos integradores de este y otros cuerpos lagunares de México (Ayala & Phleger 1969). Algunos procesos críticos, como pudiera ser, identificar si la alta producción biológica (producción primaria y secundaria) del complejo lagunar, es causada por procesos de eutrofización local, o debida a procesos de advección y transporte desde la zona oceánica adyacente, es aún pobremente estudiado y por ende, aún poco comprendido. De tal forma, que la historia nos enseña que los resultados generados a partir de estudios independientes, usualmente son limitados para explicar los fenómenos multivariados que controlan el ecosistema y por consiguiente, tienen un impacto socioeconómico y cultural relativo para el desarrollo de las poblaciones locales. El resumen y el análisis de la información regional generada en este libro, junto con nuevas perspectivas y esfuerzos futuros de investigación, puede ser una valiosa herramienta para implementar planes de estudio con miras a un plan de ordenación y manejo del ecosistema.

El desarrollo de las distintas actividades humanas en la región ha generado una serie de problemas ambientales colaterales, mismos que son necesarios de evaluar y diagnosticar, a la vez, de valorar sus efectos en los sistemas biológicos. De facto, es necesario valorar los principales impactos producidos por la actividad pesquera derivados del uso de artes de pesca poco selectivos, como es el caso de la pesca de camarón, cuya captura incidental afecta a una gran cantidad de especies. La sobreexplotación de ciertos recursos como el abulón, la langosta y especies de escama; así como la contaminación potencial producto de residuos y desperdicios generados por la actividad pesquera y las plantas procesadoras, deben ser evaluados periódicamente, para realizar acciones preventivas, antes de convertirse en problemas sociales y de salud. La generación de información de manera interdisciplinaria permitiría el inicio de la elaboración de un programa de ordenamiento ecológico, que estaría dando las bases científicas para un crecimiento socio-económico ordenado y sostenido, lo cual debería generar en el corto, mediano y largo plazo, un menor impacto ambiental y mayor bienestar de sus pobladores.

Agradecimientos. Los autores desean hacer extensivo su agradecimiento a los investigadores y bibliotecas de CIBNOR, UABCS y CICIMAR de donde se obtuvieron la gran mayoría de los artículos y citas bibliográficas para la elaboración de esta revisión bibliográfica. Asimismo deseamos expresar nuestro agradecimiento a los revisores anónimos que hicieron posible mejorar significativamente el manuscrito. Este estudio fue elaborado con proyectos vigentes IPN-SIP (20070147) y CONACYT (11716). Los autores son becarios COFAA, EDI. Los autores RFR, GAM y JGG también son miembros del SNI.

## LITERATURA CITADA

- Álvarez-Borrego S, Galindo-Bect LA, Chee-Barragan A (1975) Características hidroquímicas de Bahía Magdalena, B. C. S. Cienc Mar 2:94-109
- Alvariño A (1964) Zoogeografía de los Quetognatos, especialmente de la región de California. Ciencia 23:51-74.
- Ayala-Castañares A, Phleger FB (1969) Lagunas Costeras un Simposio. Memorias del Simposio Internacional de Lagunas Costeras. UNAM - UNESCO, Noviembre 28-30, 1967, México
- Brinton E (1962) The distribution of Pacific euphasiids. Bull Scripps Inst Oceanogr 8:51-270
- Brusca RC, Wallerstein BR (1979) Zoogeographic patterns of idoteid isopods in the northeast Pacific with a review of shallow-water zoogeography for the region. Bull Biol Soc Washington 3:67-105
- Chapa H (1962) Los recursos pesqueros de Bahía Magdalena, B. C. Inst. Nal. Invest Biol Pesq, Serie Divulgación 3
- Cruz-Hernández P, Ramírez J, García G, Ibarra A (1998) Genetic differences between two populations of catarina scallop (Argopecten ventricosus) for adaptations for growth and survival in a stressful environment. Aquaculture 166:321-335
- Farrell TA, Ollervides F (2005) The School for Field Studies Centre for Coastal Studies: A case study of sustainable development education in Mexico. Int J Sust Higher Educ 6:122-133
- Gómez-Gutiérrez J, Robinson CJ (2006) Tidal current transport of epibenthic swarms of the euphausiid *Nyctiphanes simplex* in a shallow subtropical bay in Baja California Sur, México. Mar Ecol Progr Ser 320:215-231

- Hayes D (2001) Historical Atlas of the North Pacific Ocean. Maps of discovery and scientific exploration 1500-2000. North Pacific Marine Science Organization, PICES, Douglas & McIntyre, Vancouver/Toronto
- Hickey BM (1979) The California Current System –hypotheses and facts. Prog Oceanogr 8:191-279
- Loeb VJ, Smith PE, Moser HG (1983) Recurrent groups of larval fish species in the California Current area. Calif Coop Oceanic Fish Invest Rep 24:152-164
- Lynn RJ, Simpson JJ (1987) The California Current System: The seasonal variability of its physical characteristics. J Geophys Res 92:12497-12966
- McGowan JA (1971) Ocean biogeography of the Pacific. En: Funnell BH, Riedel WR (eds), The micropaleontology of oceans. Cambridge University Press, Cambridge, p 3-74
- Moser HG, Smith PE, Eber LE (1987) Larval fish assemblages in the California Current region, 1954-1960, a period of dynamic environmental change. Calif Coop Ocean Fish Invest Rep 28:97-127
- Moser HG, Charter RL, Smith PE, Ambrose DA, Charter SR, Meyer CA, Sandknop EM, Watson W (1988) Distributional atlas of fish larvae and eggs in the California Current region: Taxa with 1000 or more total larvae, 1951 through 1984. Calif Coop Ocean Fish Inv Atlas 31:1-233
- Pitman RL (1990) Pelagic distribution and biology of sea turtles in the Eastern Tropical Pacific. En: Richardson TH, Richardson JI, Donnelly M (eds), Proceedings of the tenth annual workshop on sea turtle biology and conservation. U.S. Department of Commerce, NOAA Technical Memorandum NMFS-SEFC-278:143-148
- Ponce-Aguilar A (2004) De cueva pintada a la modernidad: Historia de Baja California. Biblioteca Loyola, Universidad Iberoamericana Tijuana, e-book (http://consag.tij.uia.mx/ ebooks/cueva\_pintada.shtml)
- Sánchez A, Carriquiri JD (2007) Acumulación de C<sub>org</sub>, N<sub>org</sub>, P<sub>org</sub> y BSi en la margen de Magdalena, BCS (México), durante los últimos 26 ka. Cienc Mar 33:23-35
- Sánchez-Montante O (2004) Hidrodinámica y transporte de masa en el sistema lagunar Bahía Magdalena-Bahía Almejas, Baja California Sur, México, modelación y experimentación. Tesis de Doctorado. Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas, La Paz, BCS, México
- Vivar G (1934) Informe acerca de las aguas del subsuelo en la planicie costera de Baja California al norte de Bahía Magdalena. Irrigación en México 8:158-181
- Zarate-Ovando B, Palacios E, Reyes-Bonilla H, Amador E, Saad G (2006) Waterbirds of the lagoon complex Magdalena Bay-Almejas, Baja California Sur, Mexico. Waterbirds 29:350– 364
- Zaytsev O, Cervantes-Duarte R, Sanchez-Montante O (2003) Coastal upwelling activity on the Pacific shelf of the Baja California peninsula. J Oceanography 59:489-502

## LITERATURA RECOPILADA

#### Aves

- Amador-Silva E (1985) Avifauna de Isla Margarita, Baja California Sur, México. Tesis de Licenciatura. Universidad Autónoma de Baja California Sur, La Paz, BCS, México
- Amador-Silva E, Guzmán-Poo J (1994) El águila calva (*Haliaeetus leucocephalus*) en Isla Margarita, BCS, Mexico. Rev Invest Cient UABCS 5:33-35
- Amador-Silva E, Mendoza-Salgado RA, de Anda-Montañez JA (2006) Estructura de la avifauna durante el periodo de invierno-primavera en el Estero Rancho Bueno, Baja California Sur. Rev Mex Biodiver 77:251-259

- Carmona RJ, Guzman J, Elorduy JF (1995) Hatching, growth, and mortality of magnificent fregatbird chicks in Southern Baja California. Willson Bull 107:328-337
- Gómez-Cordero G, Amador-Silva E, Mendoza-Salgado R (1982) Estudios preliminares de la avifauna de Isla Margarita, Baja California Sur, in 1980. Bol Inf Cent Int Inv UABCS 3:5-18
- Gómez-Cordero G, Mendoza-Salgado R, Amador-Silva E (1984) Avifauna marina del manglar "Las Tijeras". Mem III Simp Biol Mar, UABCS
- Henny CJ, Conant B, Anderson DW (1993) Recent distribution and status of nesting bald eagles in Baja California, Mexico. J Raptor Res 27:203-209
- Massey B W, Palacios-Castro E (1994) Avifauna of the wetlands of Baja California, México: Current status. Stud Avian Biol 15:45-57
- Moreno-Matiella L, Carmona-Piña L (1988). Ecología reproductiva de Fregata magnificens en Isla Santa Margarita, BCS, Tesis de Licenciatura. Universidad Autónoma de Baja California Sur, La Paz BCS, México
- Palacios-Castro E, Alfaro L, Page GW (1994) Distribution and abundance of breeding snowy plovers on the Pacific coast of Baja California. J Field Ornithol 65:490-497
- Rising JD (2001) Geographic variation in size and shape of Savannah Sparrows (*Passerculus sandwichensis*). Stud Avian Biol 23:1-65
- 12. Tamez-Hidalgo P (2005) Patrones de uso de hábitat del águila pescadora (*Pandion haliaetus carolinensis*) durante una temporada no reproductiva, en dos zonas de estudio en Bahía Magdalena, Baja California Sur. Tesis de Licenciatura, Universidad Autónoma Metropolitana-Xochimilco, México, DF
- Zarate-Ovando B, Palacios E, Reyes-Bonilla H, Amador E, Saad G (2006) Waterbirds of the lagoon complex Magdalena Bay - Almejas, Baja California Sur, Mexico. Waterbirds 29:350-364

## Bentos

- Estrada-Vargas A (1998) La comunidad de foraminíferos en una zona de transición biogeográfica al occidente de Baja California Sur, México, Tesis de Maestría, Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas, La Paz, BCS, México
- Félix-Pico E, García-Domínguez F (1993) Macrobentos sublitoral de Bahía Magdalena, BCS, En: Salazar-Vallejo S, González N (eds), Biodiversidad Marina y Costera de México, p 389-410

### Crustáceos

- 16. Aguilar-Ramírez DA, Flores-Santillán A (2000) Evaluación de la eficiencia y selectividad de la red suripera para la captura de camarón azul en el sistema lagunar Bahía Magdalena-Almejas, Baja California Sur. Informe técnico INP
- Aurioles-Gamboa D (1992) Inshore-offshore movements of pelagic red crabs (*Pleuroncodes planipes*) off the Pacific coast of Baja California Sur, México. Crustaceana 62:71-84
- Aurioles-Gamboa D, Castro M, Pérez R (1994) Annual mass strandings of pelagic red crabs, *Pleuroncodes planipes* (Crustacea: Anomura: Galatheidae), in Bahía Magdalena, Baja California Sur, México. Fish Bull 92(2):464-470
- Ayala Y, Lucero F (1988) Fecundidad de langosta roja (Panulirus interruptus Randall) en la región de Bahía Magdalena y San Juanico; B. C. S. Secretaria de Pesca, Instituto Nacional de la Pesca, Centro Regional de

Investigación Pesquera La Paz, Bol Pesq<br/> Contrib $\mathsf{T\acute{e}c}$  No1

- 20. Boyd CM (1967) Benthic and pelagic habitats of the red crabs *Pleuroncodes planipes*. Pac Sci 21:394-403
- Casillas R, Ruíz R, Magallon F, Arvizu J, Portillo G (1988) Crecimiento invernal de camarón azul (*Penaeus stylirostris*) sometido a condiciones de cultivo rústico en Puerto Chale, BCS, México. Rev Latinoam Acuicult 36:62-71
- Cendejas M (1987) Relaciones biométricas y abundancia relativa de *Penaeus stylirostris* (camarón azul), en Bahía Magdalena, BCS, México. Invest Mar CICIMAR 3:1-10
- de la Rosa-Mesa K (2005) Fauna de acompañamiento de camarón en Bahía Magdalena, BCS, México. Tesis de Maestría, Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas, La Paz, BCS, México
- 24. de la Rosa-Pacheco R (1998) Pruebas técnicas de pesca de redes de enmalle japonés (Genjiki-ami) para la captura del camarón en las zonas profundas de Bahía Magdalena, Baja California Sur. Informe Técnico. INP, México
- 25. Felix-Pico E (1992) Notas sobre la biología del cangrejo chícharo, *Tumidotheres margarita* (Smith, 1869) (Decapoda: Brachyura: Pinnotheridae), en el sistema lagunar de Bahía Magdalena, Baja California Sur, México. Proc San Diego Soc Nat Hist 25:9-27
- Flores-Castañon A (1980) Prospección de los camarones comerciales (género *Penaeus*) en el sistema lagunario Bahía Magdalena-Almejas, BCS, Mem II Simp Latinoam Acuacult 1:1303-1360
- 27. Flores-Santillán A, Guerrero F, Angulo J (1998) Investigación tecnológica de los sistemas de captura con redes de enmalle para camarón café (*Penaeus* californiensis) en Bahía Magdalena, Baja California Sur. Periodo enero-diciembre 1997. Informe de Investigación Centro Regional de Investigación Pesquera La Paz, INP, BCS, México
- García-Borbón JA, Loreto-Campos PA, de la Rosa-Pacheco R (1998) Muestreo biológico de camarón en el sistema Bahía Magdalena-Almejas, Baja California Sur, septiembre 1997. Temporada de captura 1997-1998, pesquería de camarón de aguas protegidas. Instituto Nacional de la Pesca, Centro Regional de Investigación Pesquera, La Paz, BCS
- 29. García-Martínez S (2005) Análisis de estrategias para el manejo sostenible de la pesquería de camarón en Bahía Magdalena, Baja California Sur. Tesis de Doctorado, Universidad Autónoma de Baja California Sur, La Paz, BCS
- García-Rodríguez P, Perez-Enriquez R (2006) Genetic differentiation of the California spiny lobster *Panulirus interruptus* (Randall, 1840) along the west coast of the Baja California Peninsula, Mexico. Mar Biol 148:621-629
- González-Ramírez P, García-Domínguez F, Félix-Pico E (1990) Estudio biológico pesquero de las jaibas Callinectes bellicosus Stimpson y C. arcuatus Ordway de Bahía Magdalena, BCS, Informe de Proyecto CONACyT P220CCOR 881063
- 32. Hernández-Lizardi J, González-Garibay M (1989) Rendimiento de producción de camarón Azul (*Penaeus stylirostris*) a diferentes densidades de cultivo semiintensivo en Puerto Chale, BCS, México. Tesis de Licenciatura, Universidad Autónoma de Baja California Sur, La Paz BCS, México
- Hernández-Llamas A, Magallón-Barajas F (1991) Bioeconomic analysis for the growth-out *Penaeus stylirostris* using organic and inorganic fertilizers and pelleted feed. Invest Mar CICIMAR 6:267-281
- Hernández-Llamas A, Balart EF, Ponce-Díaz G, Civera-Cerecedo R (2006) Feasibility of a new fishery in Baja California, Mexico based on the red crab *Pleuroncodes planipes*:

Preliminary economic evaluation and risk assessment. Aquat Living Resour 19:173-179

- 35. López, JA, Arvizu J, Gallardo NY (1982) Recurso langostilla. Documento preparado para la reunión nacional sobre investigación científico pesquera. Instituto Nacional de la Pesca, Cocoyoc, Morelos, México
- 36. Mathews CP, González JA (1975) Potencial pesquero y estudios ecológicos de Bahía Magdalena I. Las existencias de camarón con referencia especial al camarón de roca o camarón japonés. Cienc Mar 2:51-57
- Nunomura N (1978) Tanaidaceans and Anthuridean isopods collected on the Presidential Cruise of 1938. Proc Biol Soc Wash 91:936-952
- Okonski, SL, Martini LW (1978) Informe tecnico sobre las experiencias practicas de pesca de langostilla en Bahia Magdalena, Baja California, utilizando el arrastrero de productos pesqueros mexicanos A-26-A. Programa de Investigación y Desarrollo de las Pesquerias. Mexico/ PNUD/FAO
- Pérez-Enriquez R, Vega A, Ávila S, Sandoval J (2001) Population genetics of red spiny lobster (*Panulirus interruptus*) along the Baja California Peninsula, México. Mar Freshw Res 52:1541-1549
- Robinson CJ, Anislado V, Ramos P (2004) Shoaling fish and red crab behaviour related to tidal variations in Bahía Magdalena, México. Deep-Sea Res 51:767-783
- 41. Robinson CJ, Gómez-Aguirre S (2004) Tidal stream use by the red crab *Pleuroncodes planipes* in Bahía Magdalena, México, J Exp Mar Biol Ecol 308:237-252
- 42. Rodríguez-Rojero A (2004) Hábitos alimenticios de las jaibas Callinectes bellicosus Stimpson y C. arcuatus Ordway (Brachyura: Portunidae) en Bahía Magdalena, Baja California Sur, México. Tesis de Maestría, Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas, La Paz, BCS, México
- 43. Sánchez-Palafox A, Aguilar-Ramírez D, Flores-Santillán A, Acal D, Seefoó-Ramos A (1999) Evaluación biotecnológica de la red de arrastre denominada "Ala de Ángel" para la captura del camarón café en el sistema lagunar de Bahía Magdalena-Bahía Almejas Baja California Sur, de noviembre a diciembre de 1998. Informe de investigación, Centro Regional de Investigación Pesquera La Paz, BCS
- 44. Vega A, Espinoza G, Castro C, León G, Turrubiates J, Reinecke M (1991) Variación espacio-temporal de la estructura poblacional e índices de abundancia relativa y su relación con el proceso de reclutamiento de las langostas (*Panulirus* spp.), en el litoral occidental de Baja California Sur. Taller México-Australia sobre reclutamiento de recursos bentónicos de Baja California. La Paz BCS, México
- 45. Vega F, Nolasco H, Fallarero A, Carrillo O (2002) Caracterización bioquímica del extracto crudo de *Pleuroncodes planipes* (Crustácea: Galatheidae), como un aditivo alimenticio potencial, consideraciones para una nueva pesquería en la costa del Pacífico de México. Hidrobiológica 12:119-128.
- 46. Villarreal-Chávez G, González-Ramírez P, García-Domínguez F, Félix-Pico E, Holguín-Quiñónez O (2003) Population biology of *Callinectes bellicosus* (Stimpson, 1859) (Decapoda: Portunidae) in Bahía Magdalena lagoon system, México. En: Hendrickx M (ed) Contribuciones al estudio de los crustáceos del Pacífico Este 2:169-176

## Geología

47. Bonini JA, Baldwin SL (1998) Mesozoic metamorphic and middle to late Tertiary magmatic events on Magdalena and Santa Margarita Islands, Baja California Sur, México: implications for the tectonic evolution of the Baja California continental borderland. Bull Geol Soc Am 110:1094-1104

- Murillo de Nava JM (1993) Características y fuentes de abastecimiento de los sedimentos de la Isla Creciente dentro del complejo Lagunar Margarita, B.C.S., México. Tesis de Maestría, University of Southern California, Los Angeles, CA
- 49. Murillo de Nava JM (1997) Sedimentary characteristic and chronology of Holocene aeolian deposits of the southern portion of the Purísima–Iran–Magdalena Basin, Baja California Sur, México. Tesis de Doctorado, University of Southern California, Los Angeles, CA
- Murillo de Nava JM, Gorsline DS (2000) Holocene and modern dune morphology for the Magdalena coastal plain, Baja California Sur, México. J Coast Res 16:915-925
- 51. Murillo de Nava JM, Gorsline DS, Goodfriend GA, Vlasov VK, Cruz-Orozco R (1999) Evidence of Holocene climatic changes from Aeolian deposits in Baja California Sur, México, En: Murray-Wallace CV, Scott DB (eds) Late quaternary coastal records of rapid change: Application to present and future conditions (IGCP Project 367). Quat Intern 56:141-154.
- Murillo JM, Osborne RH, Gorsline DS (1994) Sources of beach sand at Creciente Island, Baja California Sur, México: Fourier grain shape analysis. Cienc Mar 20:243-266
- Ramos-Velázquez E (1994) Cartografía y petrografía de la región Centro-Oriental de la Isla Santa Margarita, B. C. S., México. Tesis de Licenciatura. Universidad Autónoma de Baja California Sur, La Paz BCS, México
- 54. Sedlock RL (1993) Mesozoic geology and tectonics of blueschist and associated oceanic terranes in the Cedros-Vizcaíno-San Benito and Magdelena-Santa Margarita regions, Baja California, Mexico. En: Dunne G, McDougall KA (eds) Mesozoic Paleogeography of the Western United States: II, Pacific Section SEPM Book Los Angeles, California 71:113-126
- 55. Vivar G (1934) Informe acerca de las aguas del subsuelo en la planicie costera de Baja California al norte de Bahía Magdalena. Irrigación en México 8:158-181

### Ictioplancton

- Aceves-Medina G, Saldierna-Martínez R, Hernández-Rivas M (1992) Variación diurna de la abundancia de larvas de peces en la boca de Bahía Magdalena, Baja California Sur, México. Invest Cient 3:61-70
- 57. Anónimo (1985) Investigaciones ictioplanctónicas en la costa occidental de Baja California Sur y Bahía Magdalena, para evaluar la biomasa reproductora de sardina y anchoveta. Informe final a la Secretaría de Pesca. CICIMAR-IPN. La Paz, BCS, México.
- Avendaño-Ibarra R (2004) Cambios en la abundancia larval del género Paralabrax (Pises: Serranidae) en Bahía Magdalena, durante 1982-1986. Tesis de Maestría. Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas, La Paz, BCS, México
- Avendaño-Ibarra R, Funes-Rodríguez R, Hinojosa-Medina A, González-Armas R, Aceves-Medina G (2004) Seasonal abundance of fish larvae in a subtropical lagoon in the west coast of the Baja California Peninsula. Est Coast Shelf Sci 61:125-135
- 60. Castro-Barrera T (1975) Ictioplancton de Bahía Magdalena, Baja California Sur. Cienc Mar 2:10-36
- 61. Castro-Barrera T, Moreno-Garibay F, Moreno-Green C (1974) Abundancia y distribución estacional de larvas de peces en Bahía Magdalena, Baja California Sur. Memorias V Congreso Nacional de Oceanografía. Guaymas Sonora

- 62. Esqueda-Escárcega G, Esquivel-Herrera A, Funes-Rodríguez R, González-Armas R, Haro-Garay M, Hernández-Rivas M, Hernández-Trujillo S, Saldierna-Martínez R, Sánchez-Hidalgo M, Sánchez-Ortíz C, Vera-Alejandre GR (1984) Atlas de distribución y densidad de huevos y larvas de clupeidos y engraulidos en el complejo Bahía Magdalena-Bahía Almejas, Baja California Sur 1981-1983 CICIMAR-IPN, La Paz, BCS, México Atlas 2
- 63. Funes-Rodríguez R (1985) Abundancia de sifonóforos y larvas de Sardinops sagax caerulea en el invierno (1981-1982), en Bahía Magdalena BCS, México. Invest Mar CICIMAR 2:70-76
- 64. Funes-Rodríguez R, González-Armas R, Avendaño-Ibarra R (1998) Distribución y abundancia de las larvas de peces en el sistema lagunar Bahía Magdalena-Almejas, Baja California Sur, México. Hidrobiológica 8:55-66
- 65. Funes-Rodríguez R, Hernández-Rivas M, Saldierna-Martínez R, González-Armas R, Hinojosa-Medina A, Avendaño-Ibarra R (2000) Comparación del desove de las sardinas crinuda y monterrey (Clupeidae) durante dos eventos El Niño en Bahía Magdalena, BCS, 1982-1983 y 1997-1998. En: Ríos E, Juárez E, Pérez M, López E, Robles E, Hernández D, Silva M (eds) Estudios sobre el Plancton en México y el Caribe. Sociedad Mexicana de Planctología y Universidad de Guadalajara, p 39-40
- 66. Funes-Rodríguez R, Hernández-Rivas M, Saldierna-Martínez R, González-Armas R, Hinojosa-Medina A, Avendaño-Ibarra R (2000) Abundancia de huevos y larvas de peces pelágicos menores en una laguna subtropical al inicio del evento El Niño (1997-1998). En: Ríos E, Juárez E, Pérez M, López E, Robles E, Hernández D, Silva M (eds) Estudios sobre el Plancton en México y el Caribe. Sociedad Mexicana de Planctología y Universidad de Guadalajara, p 37-38
- 67. Funes-Rodríguez R, Hernández-Rivas M, Saldierna-Martínez R, González-Armas R, Hinojosa-Medina A, Avendaño-Ibarra R (2000) Biodiversidad del ictioplancton de Bahía Magdalena Baja Califronia Sur. En: Ríos E, Juárez E, Pérez M, López E, Robles E, Hernández D, Silva M (eds) Estudios sobre el Plancton en México y el Caribe. Sociedad Mexicana de Planctología y Universidad de Guadalajara, p 35-36
- 68. Funes-Rodriguez R, Hinojosa-Medina A, Aceves-Medina G, Saldierna-Martínez R, Hernández-Rivas M (2004) Diagnosis taxonómica y distribución de la abundancia de los primeros estadios de vida de los peces pelágicos menores. En: Quiñonez C, Elorduy J (eds) Ambiente y pesquerías de pelágicos menores del noroeste de México. La Paz BCS, CICIMAR-IPN, p 27-56
- 69. Funes-Rodríguez R, Hinojosa-Medina A, Avendaño-Ibarra R, Hernández-Rivas M, Saldierna-Martínez R, Watson W (2001) Spawning of small pelagic fish in Magdalena, Baja California Sur, Mexico, at the beginning of the 1997-1998 El Niño event. Est Coast Shelf Sci 53:653-664
- Leal-Espinoza J (2006) Distribución espacio-temporal de larvas de peces en Bahía Magdalena durante el desarrollo del evento El Niño (1997-1998). Tesis de Maestría, Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas, La Paz, BCS, México
- Matus-Nivón E, Ramírez-Sevilla R, Martínez-Pecero R, Ortíz-Galindo J (1989) Descripción de la larva y juvenil del mojarron *Calamus brachysomus* (Lockington) (Pisces: Saparidae). Invest Mar CICIMAR 4:141-150
- 72. Ortíz-Galindo J, Matus-Nivon E, Ramírez-Sevilla R, González-Acosta B (1990) Embrión, larva y prejuvenil del sol mexicano Achirus mazatlanus (Pisces: Soleidae). Rev Biol Trop 38:195-204

- Palomares-García R, Vera-Alejandre R (1995) Predation upon larvae of the Pacific sardine Sardinops sagax by cyclopoid copepods. J crust Biol 15:196-201
- 74. Saldierna-Martínez R (1991) Determinación de edad, desarrollo y mortalidad de huevos de la sardina crinuda, *Opisthonema libertate* en el complejo lagunar de Bahía Magdalena, Baja California Sur, México. Tesis de Maestría. Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas, La Paz, BCS, México
- 75. Saldierna-Martínez R, Hernández-Rivas M, Hernández-Vázquez S, González-Navarro E (1992) Determinación de edad y desarrollo de los huevos de la sardina crinuda, *Opisthonema libertate* en Bahía Magdalena BCS México. Invest Cient UABCS 3:71-80
- 76. Saldierna-Martinez R, Sánchez-Ortíz CA, Vera-Alejandre G (1987) Estudios sobre los primeros estadios de vida de las sardinas crinuda Opisthonema libertate, y monterey, Sardinops sagax, en Bahía Magdalena, BCS I. Descripción de huevos. II Distribución y abundancia de huevos y larvas. III Mortalidad larval. Tesis de Licenciatura, Universidad Autónoma de Baja California Sur, La Paz, BCS, México
- 77. Sánchez-Ortíz CA (1990) Fluctuaciones en la abundancia de las sardinas monterrey, Sardinops sagax, crinuda, Opisthonema libertate, y japonesa Etrumeus teres, y su relación con las condiciones ambientales en Bahía Magdalena, BCS, México.1981-1985. Investigaciones Ecológicas del Plancton del Noroeste de México. Reporte técnico final. CICIMAR-IPN, La Paz, BCS, México, pp 504-531
- Torres-Villegas J, Ochoa-Baez R, Muñetón-Gómez M (1995) Temperature effect on spawning and age structure of eggs of *Sardinops sagax*, Clupeidae, during five circadian cycles in Bahía Magdalena, BCS. Sci Mar 59:439-443
- Valdez-Moreno M, Vásquez-Yeomans L (2001) Description of the osteological development of the caudal complex of laboratory-reared larvae of grunion *Leuresthes tenuis* (Ayres, 1860). Bull Mar Sci 68:351-356
- Vera-Alejandre R (1993) El desove de las sardinas crinuda y monterrey en Bahía Magdalena: Un análisis a corta escala de tiempo. Tesis de Maestría, Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas, La Paz, BCS, México

## Macroalgas

- Sánchez-Rodríguez I (1996) Fenología de Sargassum sinicola (Setchell et Gardner) en Bahía Magdalena, BCS, México. Tesis de Maestría Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas, La Paz, BCS, México
- Sánchez-Rodríguez I, Cervantes-Duarte R (1999) Longitud y biomasa de Sargassum sinicola Stechell et gardner (Phaeophyta) en Bahía Magdalena, BCS, México. Hidrobiológica 9:117-124
- Sánchez-Rodríguez I, Fajardo C, Pantoja O (1989) Estudio florístico estacional de las macroalgas en Bahía Magdalena, BCS, México. Invest Mar CICIMAR 4:35-48
- Serviere-Zaragoza E, García-Hernández V, Siqueiros-Beltrones D (2003) Diversity and distribution of macroalgae associated with abalone (*Haliotis* spp.) habitats in Baja California Sur, México. Bull Mar Sci 72:725-739
- West J, Zuccarello G, Pedroche F, Karsten U (1994) Caloglossa apomeiotica sp.nov. (Ceramiales, Rhodophyta) from Pacific México. Bot Mar 37:381-390

### Mamíferos

 Bautista-Vega A (2002) Alimentación del lobo marino de California (Zalophus californianus, Lesson, 1828), y su relación con los pelágicos menores en Bahía Magdalena, BCS, México. Tesis Maestría, Universidad Nacional Autónoma de México, México DF

- Caraveo-Patiño J, Soto L (2005) Stable carbon isotope ratios for the gray whale (*Eschrichtius robustus*) in the breeding grounds of Baja California Sur, México. Hidrobiología 539:99-104
- Chávez-Rosales S, Gardner C (1999) Recent harbour seal (*Phoca vitulina richardsi*) pup sightings in Magdalena Bay, Baja California Sur, México. Aquat Mamm 3:169-171
- Córdoba F (1981) La ballena gris y la explotación de fosforita en Baja California Sur. 1 Reunión Nacional sobre la ballena gris. Aspectos biológicos, socioeconómicos y legales
- 90. Fleischer L (1981). Censos en helicóptero de ballenas grises en Bahía Magdalena. Memoria de la Reunión de Actividades relacionada con la Oceanografía. Comisión Nacional de Investigación Oceanográfica. Secretaría de Marina, México
- Fleischer L, Beddington J (1985) Seasonal abundance, reproduction and early mortality rates of gray whales (*Eschrichtius robustus*) in Mexican waters (1980-1985). Intern Whal Comm SC/37/PS22
- Fleischer L, Contreras J (1986) Censos de ballenas grises (*Eschrichtius robustus*) en Bahía Magdalena, BCS, México. Cienc Pesq 5:51-62
- 93. Gardner S, Chávez-Rosales S (2000) Changes in the relative abundance and distribution of gray whales (*Eschrichtius robustus*) in Magdalena Bay, México during an El Niño event. Mar Mamm Sci 16:728-738
- 94. López-Sagástegui C (2002) Distribución de la tonina (*Tursiops truncatus*) en la zona de canales de Bahía Magdalena, BCS, Tesis de Licenciatura, Universidad Autónoma de Baja California Sur, La Paz BCS, México
- Norris K, Goodman R, Villa-Ramírez B, Hobbs L (1977) Behavior of California gray whale, *Eschrichtius robustus*, in southern Baja California, México. Fish Bull 75:159-172
- 96. Ollervides F (1997) Effects of boat traffic on the behavior of gray whales, *Eschrichtius robustus*, in Bahía Magdalena, Baja California Sur, Mexico: A bioacoustic assessment. Tesis de Maestría, Texas A&M University, College Station, TX, USA
- Ollervides F (2002) Gray whales and boat traffic: movement, vocal, and behavioral responses in Bahía Magdalena, México. Dissertation Abstracts International Part B Sci & Eng 62:4863
- Ollervides F, Perez H (2000) A summary of whale-watching impacts on gray whale (*Eschrichtius robustus*) at Bahía Magdalena, México. SC/52/WW10. Report for International Whaling Commission meeting in Australia
- 99. Peréz-Cortés H, Urbán J, Loreto P (2004) A note on gray whale distribution and abundance in Magdalena Bay complex, Mexico during the 1997 winter season. J Cetacean Res Manage 6:133-138
- 100. Rice D, Wolman A, Withrow D, Fleischer L (1981) Gray whales on the winter grounds in Baja California. Rep Int Whaling Comm 31:477-489
- 101. Rivera-Galicia G (2003) Impacto del ecoturismo en el comportamiento de la ballena gris Eschrichtius robustus, en Bahía Magdalena, BCS, México. Tesis Licenciatura, Universidad Atónoma Metropolitana-Zaragoza, México DF
- 102. Rivera-Galicia G, Martínez-Villalba M (2003) Impacto del ecoturismo en el comportamiento de la ballena gris, *Eschrichtius robustus*, en Bahía Magdalena, BCS, México, UNAM FES-Zaragoza, México
- 103. Rodríguez-Jaramillo MC, Gendron D (1996) Report of a sea otter, *Enhydra lutris*, off the coast of Isla Magdalena, Baja California Sur, México. Mar Mamm Sci 12:153-156
- 104. Sánchez J (1997) Descripción y desarrollo de las actividades

turísticas de observación de ballena gris en las lagunas de la Reserva de la Biosfera El Vizcaíno y Bahía Magdalena, Baja California Sur, México. Bol Pesq CRIP-La Paz 7:8-18

## Manglares

105. Chávez-Rosales S (2006) El papel de los manglares en la producción de las comunidades acuáticas de Bahía Magdalena, BCS Tesis de Doctorado, Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas, La Paz, BCS, México

### Microalgas

- 106. Cohen-Fernández E (2000) Estructura y dinámica en el corto plazo, de la comunidad de fitoplancton en la boca de la Bahía Magdalena, costa occidental de Baja California Sur, México. Tesis de Maestría, Universidad Autónoma Metroplitana, México, DF, México
- 107. Gárate-Lizárraga I (1989) New records of *Rhizosolenia* species in the central region of the Gulf of California and Magdalena Bay. Invest Mar CICIMAR 4:291-296
- 108. Gárate-Lizárraga I (1992) Variación espacio temporal de la abundancia fitoplanctónica y de la estructura de las asociaciones microfitoplanctónicas en el sistema lagunar Magdalena-Almejas durante 1984-1986. Tesis de Maestría, Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas, La Paz, BCS, México
- 109. Gárate-Lizárraga I, Siqueiros-Beltrones D (1998) Time variation in phytoplankton assemblages in a subtropical lagoon system after the 1982-1983 'El Niño' event (1984 to 1986). Pac Sci 52:79-97
- 110. Garate-Lizárraga I, Siqueiros-Beltrones D, Verdugo-Díaz G, Guerrero-Caballero R (2000) Dinámica del fitoplancton en el sistema lagunar Magdalena-Almejas. En: Lluch-Belda D, Elourduy-Garay J, Lluch-Cota SE, Ponce-Díaz G (eds) Centros de Actividad Biológica del Pacífico Mexicano. CIB-CICIMAR-CONACYT, p 143-155
- 111. Gárate-Lizárraga I, Verdugo-Díaz G (2001) Checklist of marine phytoplankton in a subtropical lagoon system in Baja California Sur, México, from 1980 to 1989. En: Rushton B, Hackney P, Tyrie C (eds) Biological collections and biodiversity. Linnean Soc. 3 Westbury Pub., London, p 254-270
- 112. Garate-Lizárraga I, Verdugo-Díaz G, Siqueiros-Beltrones D (2001) Variación de las asociaciones fitoplanctónicas durante 1988/1989 en un sistema lagunar subtropical de la costa oeste de México. Oceánides 16:1-16
- 113. López-Fuerte O (2002) Estructura de las asociaciones de diatomeas epifitas en raíces de *Rhizophora mangle* L. en Bahía Magdalena, BCS, México. Tesis de Licenciatura. Universidad Autónoma de Baja California Sur, La Paz BCS, México
- 114. Lopéz-Fuerte O (2004) Estructura de asociaciones de diatomeas en sedimentos del intermareal en la zona noroeste del sistema lagunar Magdalena-Almejas, BCS, México. Tesis de Maestría, Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas, La Paz, BCS, México
- 115. López-Fuerte O, Siqueiros-Beltrones D (2006) Distribución y estructura de asociaciones de diatomeas en sedimentos de un sistema de manglar. Hidrobiológica 16:283-292
- 116. Martínez-López A (1987) Fitoplancton de Bahía Magdalena-Bahía Almeja. Investigaciones ecológicas del plancton del noroeste de México. Informe interno Departamento de Plancton CICIMAR-IPN, La Paz, BCS, México
- 117. Martinez-Lopez, A, Siqueiros-Beltrones DA, Silverbeg N (2004) Transport of benthic diatoms across the continental

shelf off southern Baja California Peninsula. Cien Mar 30:503-513

- 118. Martínez-López A, Hernández-Alfonso J, Band-Schmidt C, Palomares-García R (2000) Cambios de corto plazo de la comunidad del fitoplancton en Bahía Magdalena durante el verano de 1998. En: Ríos E, Juárez E, Pérez M, López E, Robles E, Hernández D, Silva M (eds). Estudios sobre plancton en México y el Caribe. Sociedad Mexicana de Planctología y Universidad de Guadalajara, p 67-68
- 119. Martínez-López A, Verdugo-Díaz G (2000) Composición y dinámica del fitoplancton en el BAC de Bahía Magdalena, BCS. En: Lluch-Belda D, Elorduy-Garay J, Lluch-Cota SE, Ponce-Díaz G (eds). BAC: Centros de Actividad Biológica del Pacífico Mexicano. CIBNOR CICIMAR CONACYT, p 125-142
- 120. Morquecho-Escamilla ML, Murillo-Murillo I (1995) Parámetros fisicoquímicos y biomasa fitoplanctónica en Bahía de La Paz y Bahía Magdalena, BCS, Technical Report. CIBNOR, La Paz, BCS México
- 121. Nienhuis H (1986) La composición específica, diversidad y biomasa del fitoplancton de Bahía Magdalena de septiembre de 1980 hasta junio de 1984. CICIMAR-IPN Atlas 5
- 122. Nienhuis H, Guerrero-Caballero R (1985) A quantitative analysis of the annual phytoplankton cycle of Magdalena lagoon complex (México). J Plankton Res 7:427-441
- 123. Nienhuis H, Guerrero-Caballero R (1986) Biomasa y distribución del fitoplancton entre 1980 y 1984 en Bahía Magdalena, Baja California Sur, México. CICIMAR-IPN Atlas 5
- 124. Siqueiros-Beltrones D (2000) Benthic diatoms associated to abalone (*Haliotis* spp.) on a rocky substratum from Isla Magdalena, Baja California Sur, México. Oceánides 15:35-46
- 125. Siqueiros-Beltrones D, López-Fuerte O (2006) Benthic diatoms associated to red mangrove (*Rhizophora mangle L.*) prop roots in Bahía Magdalena, B.C.S, México. Rev Biol Trop 54:287-297
- 126. Siqueiros-Beltrones D, Lopez-Fuerte O, Gárate-Lizarraga I (2005) Structure of diatom assemblages living on prop roots of the red mangrove *Rhizophora mangle* L. from the west coast of Baja California Sur, México. Pac Sci 59:79-96
- 127. Siqueiros-Beltrones D, Valenzuela-Romero G (2001) New records of benthic diatoms from natural grazing surfaces of abalone (*Haliotis* spp) in the Baja California Peninsula. Oceánides 16:107-125
- 128. Siqueiros-Beltrones D, Valenzuela-Romero G (2004) Benthic diatom assemblages in an abalone (*Haliotis* spp) habitat in the Baja California peninsula. Pac Sci 58:435-446
- 129. Verdugo-Díaz G (1993) Estructura de las asociaciones microfitoplanctónicas, abundancia numérica total y fraccionada durante un ciclo anual (1988-1989) en el sistema lagunar Magdalena-Almejas, BCS Tesis de Licenciatura, Universidad Autónoma de Baja California Sur, La Paz BCS, México

### Moluscos

- 130. Cáceres-Martínez C, Cortes J, Chávez J (1991) Reclutamiento de juveniles de moluscos bivalvos en Baja California Sur, México. Taller México-Australia sobre reclutamiento de recursos bentónicos de Baja California. La Paz BCS, México
- 131. Caceres-Martinez C, Chavez-Villalba J, Garduno-Mendez L (2005) First record of *Pseudomyicola spinosus* in *Argopecten ventricosus* in Baja California, Mexico. J Invert Pathol 89:95-100

- 132. Cáceres-Martínez C, García-Bustamante S (1990) Cultivo piloto de ostión *Crassostrea gigas* T. en costales sobre estantes en la zona intermareal en la Bahía de Magdalena, BCS: Influencia de la densidad sobre el crecimiento. En: de la Lanza-Espino G, Arredondo-Figueroa J (eds). La acuicultura en México: de los conceptos a la producción, p 162-169
- 133. Cardoza-Velasco F, Maeda-Martínez A (1997) An approach to aquacultural production of the penshell Atrina maura Sowerby, 1835 (Bivalvia: Pinnidae) in northwest México. J Shellfish Res 16:311
- 134. Castillo-Rodríguez Z, García-Cubas A (1986) Taxonomía y anatomía comparada de las ostras en las costas de México. An Inst Cien Mar Limnol Univ Nac Auton Mex 13:249-314
- 135. Chávez-Villalba J (1989) Estudio de captación de juveniles de ostión Crassostrea palmula (Cardenter, 1857), en la Bahía Magdalena (Estero "El Chisguete") y la Bahía Falsa, BCS, México. Tesis de Licenciatura, Universidad Autónoma de Baja California Sur, La Paz BCS, México
- 136. Chávez-Villalba J, Cáceres-Martínez C (1994) Estudio de la captación de juveniles del ostión Crassostrea palmula en la Bahía de Magdalena, Baja California Sur, México Rev Invest Cient 1:6-17
- 137. Cruz-Hernández P (1998) Análisis comparativo del crecimiento y supervivencia de dos poblaciones de almeja catarina Argopecten ventricosus (Sowerby II, 1842) y sus cruzas reciprocas en Baja California Sur. Tesis de Maestría. Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas, La Paz, BCS, México
- Cruz-Hernández P, Ibarra A (1997) Larval growth and survival of two catarina scallop (*Argopecten circularis*, Sowerby, 1835) populations and their reciprocal crosses. J Exp Mar Biol Ecol 212:95-110
- 139. Cruz-Hernández P, Ramírez J, García G, Ibarra A (1998) Genetic differences between two populations of catarina scallop (*Argopecten ventricosus*) for adaptations for growth and survival in a stressful environment. Aquaculture 166:321-335
- 140. Cruz-Hernández P, Rodríguez C, Ibarra, A (2000) Environment and population origin effects on first sexual maturity of catarina scallop, *Argopecten ventricosus* (Sowerby II, 1842) J Shellfish Res 1:89-93
- 141. Felix-Pico E (1993) Estudio biológico de la almeja catarina, Argopecten circularis (Sowerby, 1835) en Bahía Magdalena, B. C. S., México. Tesis de Maestría, Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas, La Paz, BCS, México
- 142. Félix-Pico E, Bojórquez-Verastica G, Morales-Hernández R, García-Domínguez F (1992) Settlement, recruitment and yields available for the scallop Argopecten circularis fishery in Bahías Magdalena and Concepcion, Baja California Sur, México. Aquaculture 92: Growing toward the 21<sup>st</sup> Century
- 143. Félix-Pico E, Castro-Ortíz J, García-Domínguez F (1994) Growth, recruitment and mortality of the Pacific calico scallop, Argopecten circularis (Sowerby, 1835), in Bahía Magdalena, BCS, México. Proceedings of the 9<sup>th</sup> International Pectinid workshop, Nanaimo, BC, Canada
- 144. Félix-Pico E, García-Domínguez F, Morales-Hernández R (1992) Fijación y reclutamiento de Argopecten circularis (Sowerby, 1835) en la pesquería de Bahía Magdalena, BCS, México. En: Guzman S (ed) Memorias del Taller México-Australia sobre reclutamiento de recursos bentónicos en Baja California, La Paz BCS, Sria. Pesca, INP, p 143-149
- 145. Félix-Pico E, Tripp-Quezada A, Singh-Cabanillas J (1989) Antecedentes en el cultivo de Argopecten circularis (Sowerby), en Baja California Sur, México. Invest Mar 4:73-92

- 146. Felix-Pico E, Ibarra-Cruz M, Merino-Márquez R, Levy-Pérez V, García-Domínguez F, Morales-Hernández R (1995) Reproductive cycle of *Argopecten circularis* in Magdalena Bay, BCS, México Peches, Biologie et aquaculture des pectinides: 8<sup>E</sup> a telier international sur les pectinides, Cherbourg France, Institut Français de Recherché pour l'exploitation de la mer, DCOM/SE, Plouzane, France 1995
- 147. García-Bustamante S (1989) Estudio de crecimiento, densidad y resistencia en *Crassostrea gigas* como contribución al desarrollo y aplicación de una biotecnología alternativa a su explotación en la Bahía Magdalena, B.C.S. Tesis de Licenciatura, Universidad Autónoma de Baja California Sur, La Paz BCS, México
- 148. García-Domínguez F, García-Melgar G, González-Ramírez P (1993) Reproductive cycle of the clam Chione californiensis (Broderip, 1835) in Bahía Magdalena, Baja California Sur, México. Cienc Mar 19:15-28
- 149. García-Pamanes L (1987) Consideraciones sobre la biología y ecología del ostión de mangle (*Crassostrea palmula* y *C. columbiensis*) en el sistema lagunar de Bahía Magdalena, BCS, con referencia al rendimiento anual sostenible. Tesis de Licenciatura, Universidad Autónoma de Baja California, Ensenada, BC., México
- 150. González L, Ibarra G, Del Rio M (2000) Genetic variability of the blue abalone *Haliotis fulgens* in the west coast of Baja California, México. J Shellfish Res 19:517
- 151. Koch V, Mazón-Suástegui J, Sincel F, Robles-Mungaray M, Dunn D (2005) Lion's paw scallop (Nodipecten subnodosus, Sowerby 1835) aquaculture in Bahía Magdalena, México: effects of population density and season on juvenile growth and mortality. Aquac Res 36:505
- 152. Leija-Tristan A, Solis-Marin F, Aurioles-Gamboa D, Amador-Silva E (1996) Natural stocks of the scallop Argopecten circularis, and relationships with the galateid crab Pleuroncodes planipes in the Pacific coast of Baja California Sur, México. Cah Biol Mar 37:153-157
- 153. León G, Ceceña N (1988) Análisis biológico pesquero de la temporada de pesca 1987 de abulón. Zona de explotación de la S.C.P.P. "Bahía Magdalena", S.C.L. Centro Regional de Investigación Pesquera La Paz, BCS, INP. SEPESCA
- 154. López M (1981) Mortalidad y crecimiento del ostión japonés (Crassostrea gigas) en cinco localidades de Bahía Magdalena, Baja California Sur. Tesis de Licenciatura, Universidad Autónoma de Baja California, Ensenada BC, México
- 155. Luna-González A (1993) Ciclo reproductivo del abulón azul Haliotis fulgens, Philippi 1845 (Mollusca: Haliotidae), en la Bahía Magdalena, Baja California Sur, México. Tesis de Licenciatura, Universidad Autónoma de Baja California Sur, La Paz BCS, México
- 156. Maeda-Martínez A, Ormart P, Mendez L, Acosta B, Sicard M (2000) Scallop grow out using a new bottom-culture system. Aquaculture 1-2:73-84
- 157. Maeda-Martínez A, Reynoso T, Monsalvo P, Sicard M, Mazón J, Hernández O, Segovia E, Morales R (1997) Suspension culture of catarina scallop *Argopecten ventricosus* (circularis) (Sowerby II, 1842), in Bahía Magdalena, México, at different densities. Aquaculture 158:235-246
- 158. Maeda-Martínez A, Reynoso T, Solís F, Leija A, Aurioles D, Salinas C, Lluch-Cota D, Ormart P (1993) A model to explain the formation of catarina scallop Argopecten circularis (Sowerby, 1835), beds, in Magdalena Bay, México. Aquac Fish Manage 24:323-339
- 159. Maeda-Martínez A, Sicard M, Carvalho L, Lluch-Cota SE, Lluch-Cota D (2000) Las poblaciones de almeja catarina Argopecten ventricosus en el centro de actividad biológica de Bahía Magdalena, México. En: Lluch-Belda D, Elourduy-Garay J, Lluch-Cota SE, Ponce-Díaz G (eds). BAC

Centros de Actividad Biológica del Pacífico mexicano. CIB-CICIMAR-CONACyT, p 219-228

- 160. Mazón-Suastegui J, Ríos-Arias V, Rivera-Lucero J, Avilés-Quevedo M (1990) La producción de semilla de ostión en el centro de acuacultura de Bahía Magdalena, Baja California Sur, México (1987-1988). Ser Cient UABCS 1:30-37
- 161. Morales-Zarate MV (2006) Patrones de reclutamiento y deriva larvaria de la almeja catarina (Argopecten ventricosus) en el complejo lagunar de Bahía Magdalena-Almejas, B. C. S., México. Tesis Doctoral, CIBNOR S.C, La Paz BCS
- 162. Oropeza-Villalobos E (1993) Proyectos de factibilidad técnica pesquera para la solicitud de concesión de pesca comercial de las especies de abulón, langosta y caracol para la S. C. P. P.,"Puerto Chale, S. C. L." Tesis de Licenciatura, Universidad Autónoma de Baja California Sur, La Paz BCS, México
- 163. Palacios E, Racotta I, Ibarra A, Ramírez J, Millan A, Avila S (2004) Comparison of biochemical composition and muscle hypertrophy associated with the reproductive cycle of diploid and triploid scallops, *Argopecten ventricosus*. J Shellfish Res 23:483-489
- 164. Pérez-Urbiola J, Martínez-Díaz S (2001) Stephanostomum sp. (Trematoda: Acanthocolpidae), the cause of "pimientilla" disease in catarina scallop Argopecten ventricosus (circularis) (Sowerby ii, 1842) in Baja California Sur, México. J. Shellfish Res 20:107-109
- 165. Racotta IS, Ramírez JL, Ibarra AM, Rodriguez-Jaramillo MC, Carreno D, Palacios E (2003) Growth and gametogenesis in the lion-paw scallop Nodipecten (Lyropecten) subnodosus. Aquaculture 217:335-349
- 166. Romero-Huacuja L (1996) Descripción morfológica y abundancia de los parásitos en gónada de abulón azul (*Haliotis fulgens*, Philippi) de Isla Magdalena, BCS, México. Tesis de Licenciatura, Universidad Autónoma de Baja California Sur, La Paz BCS, México
- 167. Romo-Piñera A (2005) Ciclo reproductivo del ostión de mangle Cassostrea palmula (Carpenter 1857), en Bahía Magdalena, Baja California Sur. Tesis de Maestría, Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas, La Paz, BCS, México
- 168. Singnoret-Brailovsky G, Maeda-Martínez A, Reynoso T, Soto-Galera E, Monsalvo-Spencer P, Valle-Meza G (1996) Salinity tolerance of the catarina scallop Argopecten ventricosus-circularis (Sowerby II, 1842). J Shellfish Res 15:623-626
- 169. Solís M, Leija A, Maeda A, Reynoso T, Aurioles D (1991) La formación de los bancos naturales de almeja catarina (Argopecten circularis) en las zonas profundas de Bahía Magdalena, B. C. S., México. Taller México-Australia sobre reclutamiento de recursos bentónicos de Baja California. La Paz, BCS, México
- 170. Stuardo J, Martínez A (1976) Relaciones entre algunos factores ecológicos y la biología de poblaciones de *Crassostrea corteziensis* Hertlein, 1951, de San Blas, Nayarit, México. An Inst Cienc Mar Limnol Univ Nac Auton Mex 2:84-130
- 171. Taylor MH, Koch V, Wolff M, Sinsel F (2006) Evaluation of different shallow water culture methods for the scallop *Nodipecten subnodosus* using biologic and economic modeling. Aquaculture 254:301-316
- 172. Tripp-Quezada A (1987) Aspectos técnicos y biológicos para el cultivo de Argopecten circularis en Bahía Magdalena. En: Ramirez E (ed), Mem Simp Inv en Biología y Oceangr Pesq en México. CICIMAR-IPN, p 155-160
- 173. Tripp-Quezada A (1989) Spawning and spat settlement of the catarina scallop *Argopecten circularis* in Bahía

Magdalena, BCS, México. J. Shellfish Res 8:488

174. Tripp-Quezada A (1991) Spawning and spat settlement of the catarina Argopecten circularis (Sowerby, 1835), in Bahía Magdalena BCS, México. En: Shu SE, Sandifer P (eds), An Internal. Compendium of scallops biology and culture attribute to James Mason. World Aquaculture. Workshop, No. 1, The World Aquaculture Society, p 43-46

## Oceanografía física y química

- 175. Acosta-Ruíz M, Lara-Lara R (1978) Resultados físicoquímicos de un estudio de variación diurna en el área central de Bahía Magdalena, B. C. S. Cienc Mar 5:37-46
- 176. Álvarez-Borrego S, Galindo-Bect L A, Chee-Barragan A (1974). Hidrología de Bahía Magdalena en otoño. V Congreso Nacional de Oceanografia. Memorias. Guaymas, Sonora, 22-25 de octubre 1974
- 177. Álvarez-Borrego S, Galindo-Bect L A, Chee-Barragan A (1975) Características hidroquímicas de Bahía Magdalena, B. C. S. Cienc Mar 2:94-109
- 178. Guerrero-Caballero R, Cervantes-Duarte R, Jiménez-Illescas A (1988) Nutrient variation during a tidal cycle at the mouth of a costal lagoon in the Northwest of México. Indian J Mar Sci 17:235-237
- 179. Hernández-Rivas M, Gómez-Gutiérrez J, Sánchez-Ortíz C, Saldierna-Martínez R, Vera-Alejandre R (1993) Atlas de temperatura superficial en el complejo lagunar de Bahía Magdalena-Almejas, Baja California Sur, México. 1980-1989. Atlas Oceanográfico Nacional, Centro Nacional de Datos Oceanográficos de la Secretaría de Marina. Sección Físico-Químico. 2:1-87
- 180. Ibarra-Obando S E, Camacho-Ibar V, Carriquiry J, Smith S (2001) Upwelling and Lagoonal Ecosystem of the dry pacific coast of Baja California. En: Seeliger V, Kjerfve D (eds), Coastal Marine Ecosystem of Latin America Springer
- 181. Lluch-Belda D, Hernández-Rivas M, Guerrero-Caballero R (2001) Variabilidad de la temperatura superficial del mar en Bahía Magdalena, BCS Oceánides 15:1-23
- 182. Morales-Zarate MV, Aretxabaleta AL, Werner FE, Lluch-Cota SE (2006) Modelacion de la circulacion invernal y la retencion de particulas en el sistema lagunar Bahia Magdalena-Almejas (Baja California Sur, Mexico). Cienc Mar 32:631-647
- 183. Obeso-Nieblas M, Gaviño-Rodríguez J, Jiménez-Illescas A (1999) Modelación de la marea en el sistema lagunar Bahía Magdalena, BCS, México. Oceánides 14:79-88.
- 184. Rodríguez-Meza DG (2004) Caracterización geoquímica por componentes mayores y elementos traza de sedimentos de los ambientes marinos costeros adyacentes a la península de Baja California. Tesis Doctoral, Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas, La Paz, BCS, México
- 185. Rodríguez–Mata ML (2006) Estudio a microescala de los nutrientes y variables hidrológicas en Bahía Magdalena, B.C.S., México. Tesis de Maestría, Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas, La Paz, BCS, México
- 186. Rosales-Villa AR (2004) Dinámica de nutrimentos en Bahía Magdalena, BCS, México. Tesis de Maestría, Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas, La Paz, BCS, México
- 187. Salinas-González F (1987) Cálculo de corrientes geostróficas e inducidas por el viento frente a Bahía Magdalena a partir de datos del crucero CICIMAR-8502. Tesis de Maestría, Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas, La Paz, BCS, México
- 188. Salinas-González F, Pinet-Plasencia R (1991) Geostrophic currents off Bahía Magdalena Baja California Sur, México.

- 189. Sánchez-Montante O (2004) Hidrodinámica y transporte de masa en el sistema lagunar Bahía Magdalena-Bahía Almejas, Baja California Sur, México, modelación y experimentación. Tesis de Doctorado. Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas, La Paz, BCS, México
- 190. Shumilin E, Rodríguez Meza GD, Sapozhnikov D, Lutsarev S, Murrillo de Nava J (2005) Arsenic concentrations in the surface sediments of the Magdalena–Almejas Lagoon complex, Baja California Peninsula, Mexico. Bull Environ Contam Toxicol 74:493-500
- 191. Solis A, Díaz E, Aurioles D, Padilla G (1977) Concentraciones iónicas en el substrato del manglar. III Meet. of Centros de Investigacion de Baja California and Scripps Institution of Oceanography (CIBCASIO), La Jolla, CA (USA), 31 Oct 1977 CIBCASIO TRANS 3:79-98
- 192. Zaytsev O, Cervantes-Duarte R, Sanchez-Montante O (2003) Coastal upwelling activity on the Pacific shelf of the Baja California peninsula. J. Oceanography. 59:489-502

### Pastos marinos

- 193. Muñíz-Salazar R, Talbot SL, Ward DH, Sage GK, Gabello-Pasini A (2003) Genetic variability of Zostera marina populations from Baja California and the Gulf of California. Gulf Mex Sci 21:125
- 194. Ríosmena-Rodríguez R, Sanchez-Lizaso JL (1996) El límite sur de distribución de Zostera marina L. y Phyllospadix torreyi Watson para el noroeste mexicano. Oceánides 11:45-48
- 195. Ríosmena-Rodríguez R, Siqueiros-Beltrones D, García de la Rosa O, Rocha-Ramírez O (1991) Extension of the geographic range of selected seaweeds on the Baja California peninsula. Rev Invest Cient UABCS 2:13-20
- 196. Santamaria-Gallegos NA, Sanchez-Lizaso JL, Ríosmena-Rodríguez R (2003) Life strategies of subtropical eelgrass Zostera marina L. populations in Southern Baja California: its Southern limit distribution along East Pacific. Gulf Mex Sci 21:130-131

#### Peces

- 197. Alvarado-Castillo R, Félix-Uraga R, Quiñónez-Velázquez C (1997) Estado actual de la pesca de sardina monterrey en Bahía Magdalena. Comité Técnico de Pelágicos Menores. V taller. Posibles indicadores biológicos y ambientales que expliquen la variabilidad en la disponibilidad y abundancia de las poblaciones de pelágicos menores, 16-18 abril 1997. La Paz, BCS, México
- 198. Arcos-Huitrón E, Torres-Villegas JR (1990) Ciclo reproductor de la macarela del Pacífico Scomber japonicus Houttuyn (Pisces: Scombridae) en Bahía Magdalena, BCS, México. Invest Mar CICIMAR 5:37-45
- 199. Arcos-Huitrón NE (1988) Madurez sexual de Scomber japonicus Houttuyn (Pisces: Scombridae), durante los periodos de 1984-1985 y 1985-1986, en Bahía Magdalena, Baja California Sur, México. Tesis de Licenciatura, Universidad Nacional Autónoma de México-Zaragoza, México DF
- 200. Arvizu-Martínez J, Torres-Villegas JR (1981) La sardina en la región de Bahía Magdalena, B. C. S. Mem. del Simp. La Pesca en México. IPN, La Paz, BCS, México
- 201. Barjau-González E (1984) Contribución al conocimiento de la estructura poblacional de capturas comerciales de la sierra del Pacífico Scomberomorus sierra Jordan y Starks, 1896, en las Bahías Magdalena y Almejas, municipio de Comondú, Baja California Sur, México. Tesis de

Licenciatura, Universidad Autónoma de Baja California Sur, La Paz BCS, México

- 202. Bizzarro JJ, Smith, Marquez-Farias JF, Hueter RE (2007) Artisanal fisheries and reproductive biology of the golden cownose ray, *Rhinoptera steindachneri* Evermann and Jenkins, 1891, in the northern Mexican Pacific. Fish Res 84:137-146
- 203. Carmona-Piña R, Alexandres-Ruíz F (1994) Determinación del crecimiento de Opisthonema libertate (Clupeiformes: Clupeidae) mediante lectura de otolitos. Rev Biol Trop 42:233-238
- 204. Casas-Valdez MM (1983) Distribución en tiempo y espacio de las especies de sardina y macarela en Bahía Magdalena, BCS, México. Tesis de Maestría, Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas, La Paz, BCS, México
- 205. Casas-Valdez MM (1987) Distribución en tiempo y espacio de las especies de sardina y macarela en Bahía Magdalena, B. C. S., México. Invest Mar CICIMAR 3:11-30
- 206. Castro-Aguirre JL, Torres-Villegas R (1993) Consideraciones acerca del origen de la ictiofauna de Bahía Magdalena-Almejas, un sistema lagunar de la costa occidental de Baja California Sur, México. An Esc Nac Cienc Biol 38:67-73
- 207. Castro-Ortíz JL (1984) La variación de la abundancia de los cardúmenes de peces pelágicos y sus relaciones con los factores ambientales, Tesis de Maestría, Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas, La Paz, BCS, México
- 208. Castro-Ortíz JL (1985) La abundancia aparente de sardina y la variación de algunos factores ambientales en Bahía Magdalena, Baja California Sur, México. Transactions of the 10<sup>th</sup> annual meeting CIBCASIO 10:206-220
- 209. Chávez-Ramos H, Galván-Magaña F, Abitia-Cárdenas A, De la Cruz-Agüero J, Rodríguez-Romero J (1994) La ictiofauna marina de Baja California Sur, México, desde la perspectiva de un trabajo museológico. Invest Mar CICIMAR 9:43-49
- 210. Cota-Gómez VM, De la Cruz-Agüero J (1998) Notas sobre la distribución de algunas especies de peces marinos de Baja California, México. Bol Invest Mar Cost 27:103-105
- 211. Cota-Meza MS, De Lachica-Bonilla F, Esquivel-Herrera A (1993) Desarrollo morfométrico del primer arco branquial de la macarela del Pacifico Scomber japonicus (Houttuyn) y sus implicaciones ecológicas. Invest Mar CICIMAR 8:39-44
- 212. De Jesús-Roldán M, Ellis L, Galván-Magaña F (1993) Geographical and size records of the electric stargazer (Astroscopus zephyreus) Gilbert and Starks, 1896 (Pisces: Uranoscopidae). Calif Fish Game 79:171-172
- 213. De la Cruz-Agüero J, Galván-Magaña F, Abitia-Cárdenas A, Rodríguez-Romero J, Gutiérrez-Sánchez FJ (1994) Lista sistemática de los peces marinos de Bahía Magdalena, Baja California Sur, México. Cienc Mar 20:17-31
- 214. Druk-González J (1978) Algunas observaciones biológico pesqueras en la raya diamante (*Dasyatis* sp y *Myliobates californica*) en Bahía Magdalena y Bahía Almejas, BCS, México. Tesis de Licenciatura, Universidad Autónoma de Baja California, Ensenada BC
- 215. Félix-Uraga R (1986) Edad, crecimiento y estructura poblacional de Sardinops sagax caerulea en Bahía Magdalena BCS Durante 1981 a 1984. Tesis de Maestría, Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas, La Paz, BCS, México
- 216. Félix-Uraga R (1987) Estructura por tallas y edades de la captura de sardina monterrey en Bahía Magdalena, durante 1985 y 1986. En: Ramírez EM (ed), Mem Simp Inv Biol Oceangr Pesq Méx. Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas, La Paz, BCS, p 35-39

- 217. Félix-Uraga R (1990) Crecimiento de Sardinops sagax caerulea en Bahía Magdalena, México. Invest Mar CICIMAR 5:27-31
- 218. Félix-Uraga R (1992) Composición por edades de la sardina monterrey Sardinops caeruleus capturada en Bahía Magdalena, BCS, México, de 1981 a 1991. Invest Mar CICIMAR 7:9-13
- 219. Félix-Uraga R. 2006. Dinámica poblacional de la sardina del Pacífico Sardinops sagax (Jenyns 1842) (Clupeiformes:Clupeidae), en la costa oeste de la península de Baja California y el Sur de California. Tesis de Doctorado, Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas, La Paz, BCS, México
- 220. Félix-Uraga R, Alvarado-Castillo R, Carmona-Piña R (1996) The sardine fishery along the western coast of Baja California, 1981 to 1994. Calif Coop Ocean Fish Invest Rep 37:188-192
- 221. Félix-Uraga R, Félix-Uraga F (1987) Estructura por tallas y edades de la captura de sardina monterrey en Bahía Magdalena, durante 1985-1986. En: Ramírez RE (ed), Mem Simp Inv Biol Oceangr Pesq Méx, La Paz BCS, p 35-37
- 222. Félix-Uraga R, García W, Alvarado-Castillo R, Quiñónez-Velázquez C (1998) Análisis de las capturas de sardina monterrey en la costa oeste de la península de Baja California. Comité Técnico de Pelágicos Menores. VI taller. Evaluación de la biomasa de los pelágicos menores y el efecto del medio ambiente en su variabilidad 20-22 mayo 1998. Mazatlán Sin, México
- 223. Félix-Uraga R, Quiñónez-Velázquez C, García-Franco W, Melo-Barrera F (2004) Variación de la Captura de la Sardina del Pacífico Sardinops caeruleus (Girard, 1856) en la costa oeste de la península de Baja California y su relación con el reclutamiento. En: Quiñonez-Velazquez C, Elorduy-Garay J (eds), Ambiente y pesquería de pelágicos menores en el Noroeste de México. La Paz. BCS México, CICIMAR-IPN, p 17-25
- 224. Félix-Uraga R, Ramírez-Rodríguez M (1989) Age determination of *Sardinops sagax caerulea* based on otolith readings. Invest Mar CICIMAR 4:59-64
- 225. Gluyas-Millán G (1989) Periodo de reproducción, distribución de tallas y relación longitud-peso de la macarela del litoral de Baja California. Invest Mar CICIMAR 4:65-72
- 226. Gluyas-Millán G, Quiñones-Velázquez C (1996) Evidencias de distintos grupos poblacionales de macarela *Scomber japonicus*. Cienc Mar 22:377-395
- 227. Gluyas-Millán MG, Quiñónez-Velázquez C (1997) Age, growth, and reproduction of Pacific mackerel Scomber japonicus in the Gulf of California. Bull Mar Sci 61:837-847
- 228. Gómez-Muñoz VM, Ramírez-Rodríguez M (1987) Análisis del rendimiento por recluta en la pesquería de sardina Monterrey en Bahía Magdalena, BCS, durante 1981 y 1982. Mem V Simp Biol Mar
- 229. González-Ochoa OA, Quiñónez-Velazquez C, Félix-Uraga R, Alvarado-Castillo R (2004) Relación entre la temperatura, el crecimiento y el tamaño de la clase anual de la sardina del Pacífico Sardinops caeruleus (Girard, 1856) en Bahía Magdalena, Baja California Sur, México. En: Quiñónez-Velazquez C, Elorduy-Garay J (eds), Ambiente y pesquería de pelágicos menores en el Noroeste de México. La Paz. BCS Méx. CICIMAR-IPN., p 87-105
- 230. Guardado F (1976) Estudios ecológicos de elasmobranquios en la zona de Bahía Magdalena, BCS, Tesis de Licenciatura. Universidad Autónoma de Baja California, Ensenada, BC, México
- Gutiérrez-Sánchez FJ (1997) Ecología de peces de fondos blandos del complejo lagunar Bahía Magdalena, BCS,

México. Tesis de Maestría, Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas, La Paz, BCS, México

- 232. Gutiérrez MC (1987) Composición específica de la captura de escama, pesquería artesanal en Bahía Magdalena, Baja California Sur, México. Tesis de Licenciatura, Universidad Nacional Autónoma de México, México DF
- 233. Hernández-López A (2003) Edad, crecimiento y reproducción de la sardina monterrey (Sardinops caeruleus) de Bahía Magdalena, BCS, durante 1981 a 1985. Tesis de Licenciatura, Universidad Autónoma de Baja California Sur, La Paz BCS, México
- 234. Hernández-Vázquez S (1983) Análisis y normalización del esfuerzo pesquero de la flota sardinera de Bahía Magdalena, BCS, México (1972-1981). Tesis de Maestría, Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas, La Paz, BCS, México
- 235. Hovey TE, Allen LG (2000) Reproductive patterns of six populations of the spotted sand bass, *Paralabrax maculatofasciatus*, from Southern and Baja California. Copeia 2:459-468
- 236. Kimura M, Blunt C (1971) Age composition of sardine landings on the Pacific coast of the United States and México in 1964-1965. Calif Fish Game 57:107-112
- 237. Lluch-Cota DB (1996) Aspectos reproductivos de la cabrilla arenera, *Paralabrax maculatofasciatus* (Pisces:Serranidae) en Bahía Magdalena-Almejas, Baja California Sur, México. Tesis de Maestría, Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas, La Paz, BCS, México
- 238. Mariano-Meléndez E (1997). Biología reproductiva de la raya lodera, Dasyatís brevis (Garman, 1880), en Bahía Almejas, Baja California Sur., México. Tesis de Licenciatura, Universidad Autónoma de Baja California Sur, La Paz BCS, México
- 239. Mathews CP, Druck-González J (1975) Potencial pesquero y estudios ecológicos de Bahía Magdalena. 3. Las existencias de rayas con especial interés a las ya aprovechadas. Cienc Mar 2:67-72
- 240. Mathews CP, Espinoza J (1975) Potencial pesquero y estudios ecológicos de Bahía Magdalena. 4. La distribución y abundancia de las existencias de pescado de escama. Cienc Mar 2:73-76
- 241. Mathews CP, Guardado-France V (1975) Potencial pesquero y estudios ecológicos de Bahía Magdalena. 2. Las existencias de gatas. Heterodontidae. Cienc Mar 2:60-66
- 242. Morales-Bojórquez E (2002) Teorema de Bayes aplicado a la estimación del rendimiento de la sardina monterrey (*Sardinops sagax caeruleus* Girard) de Bahía Magdalena, Baja California Sur, México. Cienc Mar 28:167-179
- 243. Morales-Bojórquez E (2006) Estimación del rendimiento de la pesquería de sardina monterrey (Sardinops caeruleus), de Bahía Magdalena, Baja California Sur, México: Un análisis de riesgo e incertidumbre basado en el teorema de Bayes. Tesis de Doctorado, Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas, La Paz, BCS, México
- 244. Morales-Bojórquez E, Gómez-Muñoz VM, Félix-Uraga R, Alvarado-Castillo R (2003) Relation between recruitment, sea surface temperature, and density-independent mortality of the Pacific sardine (*Sardinops caeruleus*) off the southwest coast of the Baja California Peninsula, México. Sci Mar 67:25-32
- 245. Morales-Bojórquez E, Quiñónez-Velázquez C, Arreguín-Sánchez F, Félix-Uraga R, Melo-Barrera F (2004) Estimación de la biomasa y patrones de explotación de la sardina monterrey (Sardinops caeruleus) en Bahía Magdalena, BCS, México. En: Quiñónez-Velázquez C, Elorduy-Elorduy J (eds), Ambiente y pesquería de pelágicos menores en el Noroeste de México. La Paz. BCS México, CICIMAR-IPN, p 161-173

- 246. Moreno-Sánchez XG (2004) Estructura comunitaria e interrelaciones tróficas de los peces de Bahía Almejas Baja California Sur, México. Tesis de Maestría, Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas, La Paz, BCS, México
- 247. Parada-Zenil RL (1983) Contribución al conocimiento de la biología reproductiva de Sardinops sagax caerulea en Bahía Magdalena en BCS, Tesis de Licenciatura, Universidad Nacional Autónoma de México, México DF
- 248. Ramírez-Rodríguez EM (1987) Análisis preliminar de las pesquerías artesanales del área de Bahía Magdalena, BCS, durante 1982 y 1983. Mem V Simp Biol Mar
- 249. Ramírez-Rodríguez M, Félix-Uraga R (1986) Marcas periódicas en otolitos de *Sardinops caerulea* y posibles relaciones con su reproducción en Bahía Magdalena. Invest Mar CICIMAR 3:20-28
- 250. Robinson CJ, Gomez-Gutierrez J, Félix-Uraga R, Arenas-Fuentes V (2000) Seasonal hydro-acoustical observations of small pelagic fish behaviour in Bahía Magdalena, México. Aquat Living Resour 1:11-18
- 251. Rodríguez-Romero J, Abitia-Cardenas A, Galvan-Magaña F (1991) First record of partial ambicoloration in spotted turbot (*Pleuronichthys ritteri*). Calif Fish Game 77:212-213
- 252. Rodríguez-Romero J, Ramírez-Sevilla R, Nuñez-Marquez G (1990) Deformación de la boca en un juvenil de Atherinops affinis (Ayres) (Pisces: Atherinidae) desarrollado en laboratorio. Invest Mar CICIMAR 5:143-146
- 253. Romero-Ibarra N (1988) Alimentación de la sardina crinuda en el área de Bahía Magdalena BCS, México. Tesis de Maestría, Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas, La Paz, BCS, México
- 254. Romero-Ibarra N, Esquivel-Herrera A (1989) Comparative analysis of *Opisthonema libertate* gastric contents and plankton samples. Invest Mar CICIMAR 4:267-279
- 255. Salazar-Hermoso F (1997) Abundancia relativa de la guitarra Rhinobatos productus (Ayres, 1856) (Pisces: Rhinobatidae) en Bahía Almejas, BCS, durante 1991-1995. Tesis de Licenciatura, Universidad Autónoma de Baja California Sur, La Paz, BCS, México
- 256. Salazar-Hermoso F, Villavicencio-Garayzar C (1999) Abundancia relativa de la guitarra *Rhinobatos productus* (Ayres, 1856) (Pisces: Rhinobatidae) en Bahía Almejas, Baja California Sur, de 1991 a 1995. Cienc Mar 25:401-422
- 257. Secretaria de Pesca (México) 1984. Resultados de las investigaciones mayo-junio 1984 del Programa Nacional de Investigación de la sardina. Bol Programa Nac Invest Sardina (Méx.) 8:1-41
- 258. Torres-Villegas JR (1986) Evaluación de la biomasa reproductora de Sardinops sagax por el método de producción de huevos, en Bahía Magdalena, Baja California Sur, México. Tesis de Maestría. Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas, La Paz, BCS, México
- 259. Torres-Villegas JR, García G, Ochoa R, Levy V (1985) Parámetros reproductivos de las poblaciones de Opisthonema libertate (Gunther) (Pisces: Clupeidae) y discusión sobre su evaluación por producción de huevos en Bahía Magdalena, Baja California Sur, México. Invest Mar CICIMAR 2:45-58
- 260. Torres-Villegas JR, Perezgomez L (1988) Variación de la fecundidad de Opisthonema libertate (Gunther, 1866) (Pisces:Clupeidae) de 1983 a 1985 en Bahía Magdalena, Baja California Sur, México. Invest Pesq 52:193-206
- 261. Torres-Orozco RE, Castro-Aguirre JL (1992) Registros nuevos de peces tropicales en el complejo lagunar de Bahía Magdalena- Bahía Almejas, Baja California Sur, México. Anal Inst Biol Univ Nac Autón Méx Ser Zool 63:281-286

- 262. Villavicencio-Garayzar C, Abitia-Cárdenas A (1994) Elasmobranquios de Bahía Magdalena y Laguna San Ignacio, Baja California Sur, México. Rev Invest Cient UABCS 5:63-67
- 263. Villavicencio-Garayzar CJ (1993) Biología reproductiva de Rhinobatos productus (Pisces: Rhinobatidae), en Bahía Almejas, Baja California Sur, México. Rev Biol Trop 41:777-782
- 264. Villavicencio-Garayzar CJ (1993) Notas sobre Gymnura marmorata (Cooper) (Pisces: Dasyatidae) en Bahía Almejas,
  B. C. S., México. Invest Cient UABCS 4:91-94
- 265. Villavicencio-Garayzar CJ (1993) Observaciones sobre la biología reproductiva de Narcine brasiliensisi (Olfers) (Pisces: Narcinidae), en Bahía Almejas, B. C. S., México. Rev Invest Cient UABCS 4:95-99
- 266. Villavicencio-Garayzar CJ (1995) Biología reproductiva de la guitarra pinta, Zapterix exasperata (Pisces: Rhinobatidae), en Bahía Almejas, Baja California Sur, México. Cienc Mar 21:141-153
- 267. Villavicencio-Garayzar CJ (1995) Distribución temporal y condición reproductiva de las rayas (Pisces: Batoidei), capturadas comercialmente en Bahía Almejas, BCS, México. Rev Invest Cient UABCS 6:1-12
- 268. Villavicencio-Garayzar CJ, Downtown-Hoffmann C, Mariano-Melendez E (1994) Tamaño y reproducción de la raya Dasyatis longus (Pisces: Dasyatidae), en Bahía Almejas, Baja California Sur, México. Rev Biol Trop 42:375-377
- 269. Vivero JM y Romero-Castillo J (1989) *Lile gracilis* Castro-Aguirre and Vivero a speciation process by neoteny. Bol Inst Oceanogr Venez 28:121-126
- 270. Walker HJ Jr, Bussing A (1996) Two new pufferfishes of the genus Sphoeroides from the eastern Pacific. Copeia 3:677-684

### Recursos

- 271. Anónimo (1994) Ordenamiento ecológico y generación de energía electrica para Puerto San Carlos, B.C.S., Eco-Ingeniería S. S. de C. V. Comisión Federal de Electricidad, pp 180
- 272. Chapa H (1962) Los recursos pesqueros de Bahía Magdalena, B.C.S. Dir. Gral. de Pesca e Industrias Conexas. Depto. Est. Biol. Pesq. Ser. Div, pp 27
- 273. Contreras-Espinoza F (1993) Ecosistemas costeros mexicanos. CONABIO-UAM
- 274. De Alba C (1983). La Universidad Autónoma de Baja California Sur y su participación en la conservación de los recursos naturales renovables marinos. PANORAMA 23:1-7
- 275. Enriquez-Andrade RR, Danemann GD, Ramírez S, Lozano E (1998) Acciones prioritarias de conservacion y de uso sostenible de los recursos marinos y costeros de Bahia Magdalena, B.C.S., Mexico. ProNatura, Peninsula de Baja California, Ensenada, Baja California. Reporte Interno
- 276. Hastings MD (1999) Esquema de trabajo sugerido para establecer prioridades de manejo en las zonas central y periférica de Bahía Magdalena, BCS, México. Tesis de Maestría, UABC, IIO, Ensenada, BC, México
- 277. Hastings RM, Fischer DW (2001) Management priorities for Magdalena Bay, Baja California, Mexico. J Coast Conserv 7:193-202
- 278. Mathews CP (1975) El desarrollo de la zona de Bahía Magdalena. Un panorama bio-socioeconómico en una región en pleno desarrollo. Cienc Mar 2:47-49
- 279. Méndez-García U (2005) Bases para el manejo sustentable: Evaluación de la pesca artesanal en el complejo Lagunar Santo Domingo-Magdalena-Almejas, B. C. S., México.

Tesis de Maestría, Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, La Paz, BCS, México

- 280. Saad-Navarro G, Palacios-Castro E (2004) Planificación para la conservación de sitios: Complejo lagunar de Bahía Magdalena-Almejas, B.C.S., México. Pronatura A.C. (Noroeste). La Paz, BCS, México
- 281. Saldana R, Miranda U, Morales F, Lagunas J (1998) Caracterizacion del recurso eolico en la region Pacifico-Norte y Bahia Magdalena, B.C.S., el Cerro Palma del Zopilote, Pachuca, Hgo., la Central Eoloelectrica La Venta, Playa Paraiso, Q. Roo e Isla del Carmen Camp. Informe Anual. Gerencia de Energias No Convencionales Instituto de Investigaciones Electricas. Cuernavaca, Mexico IIE/01/ 14/10114/I006/P
- 282. Tovar-Vazquez, JU (1997) Diagnóstico socioeconomico de las localidades de Puerto Chale, Adolfo López Mateos y Puerto San Carlos, involucradas en el manejo del recurso ballena gris en Bahia Magdalena. Pro Natura, peninsula de Baja California, Ensenada, BC, México

### Social

- 283. Baca-Álvarez MA (1983) Sistema de agua potable para la localidad de puerto San Carlos, municipio de Comondú, BCS Tesis de Licenciatura, Universidad de Sonora, Sonora, México
- 284. Castillo Jiménez-Manjarrez S (1993) Procedimiento constructivo, planeación y presupuesto para dos unidades de 32 M.W. diesel en Puerto San Carlos, BCS, Tesis de Licenciatura, Universidad Nacional Autónoma de México, México DF
- 285. García-Espinoza ChJ (2000) Ingeniería, construcción y puesta en servicio de la subestación encapsulada en SF6 de la Central Diesel Ampliación Puerto San Carlos. Tesis de Licenciatura. Universidad Nacional Autónoma de México-ENEP, México, DF
- 286. Ruiz-Flores R (2002) Evaluación socioeconómica y ambiental para abastecer de energía eléctrica a Bahía Magdalena, BCS; estudio de caso. Tesis de Licenciatura, Universidad Autónoma de Baja California Sur, La Paz BCS, México
- 287. Usabiaga-Arroyo JB (2001) Aviso por el que se da a conocer la autorización para utilizar las redes "Magdalena I" y "suripera" como equipos de pesca para la captura de camarón en el sistema lagunar estuarino "Bahía Magdalena-Almejas", ubicado en el estado de Baja California Sur. Secretaria de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación
- 288. Young E (2001) State intervention and abuse of the commons: fisheries development in Baja California Sur, México. Ann Assoc Amer Geograp 91:283-306

### Tortugas

- 289. Cordero-Tapia A (2005) Evaluación histopatológica de las etiologías comunes y asociadas a fibropapiloma en la tortuga prieta Chelonia mydas agassizii, de la Bahía Magdalena, Baja California Sur, México. Tesis de Doctorado, Centro de Investigaciones Biologicas del Noroeste, La Paz, BCS, México
- 290. Cordero-Tapia A, Gardner S C, Arellano-Blanco J, Inohuye-Rivera RB (2004). Learedius learedi infection in black turtles (Chelonia mydas agassizii), Baja California Sur, Mexico. J parasitol 90:645-647
- 291. 293. Garcia-Martinez S, Nichols WJ (2000) Sea turtles of Bahía Magdalena, Baja California Sur, Mexico: Demand and supply of an endangered species. International Institute of Fisheries Economics and Trade, Corvallis, OR

- 292. Gardner SC, Nichols WJ (2001) Assessment of sea turtle mortality rates in the Bahía Magdalena region, Baja California Sur, México. Chelonian Conserv Biol 4:197-199
- 293. 295. Inohuye-Rivera RB, Cordero-Tapia A, Arellano-Blanco J, Gardner SC (2004) Learedius learedi Price, 1934 (Trematoda: Spirorchiidae), in black turtle (Chelonia mydas agassizii) hearts from Magdalena Bay, Baja California Sur, Mexico. Comp Parasitol 71:37-41
- 294. Kampalath R, Gardner SC, Mendez-Rodriguez L, Jay JA (2006) Total and methylmercury in three species of sea turtles of Baja California Sur. Mar Pollut Bull 52:1816-1823
- 295. Koch V, Nichols WJ, Peckham H, De La Toba V (2006) Estimates of sea turtle mortality from poaching and bycatch in Bahia Magdalena, Baja California Sur, Mexico. Biol Conserv 128:327-334
- 296. López-Mendilaharsu M (2002) Ecología alimenticia de *Chelonia mydas agassizii* en Bahía Magdalena, Baja California Sur, México, Tesis de Maestría, Centro de Investigaciones Biologicas del Noroeste, La Paz, BCS, México
- 297. López-Mendilaharsu M, Gardner SC, Seminoff JA, Ríosmena-Rodríguez R (2005) Identifying critical foraging habitats of the green turtle (*Chelonia mydas*) along the Pacific coast of the Baja California peninsula, México. Aquatic Conserv: Mar Freshwter Ecosyst 15:259-269
- 298. Nichols WJ, Bird KE, Garcia S (2000) Community-based research and its application to sea turtle conservation in Bahía Magdalena, BCS, México. Mar Turtle Newsl 89:4-7
- 299. Talavera-Saenz A, Gardner SC, Riosmena-Rodríquez R, Acosta-Vargas B (2007) Metal profiles used as environmental markers of green turtle (*Chelonia mydas*) foraging resources. Sci Total Environ 373:94-102
- 300. Rawson D, Macnamee R, Frick MG, Williams KL (2003) Phylogeography of the coronulid barnacle, *Chelonibia* testudinaria, from loggerhead sea turtles, *Caretta caretta*. Mol Ecol 12:2697-2706
- 301. Sifuentes-Romero I (2004) Evaluación de niveles de vitellogenina en tortugas marinas. Tesis de Maestría, Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, La Paz, BCS, México

## Zooplancton

- 302. Anónimo (1987) Investigaciones ecológicas del plancton de Noroeste de México. Reporte técnico anual. CICIMAR-IPN, La Paz, BCS, México
- 303. Anónimo (1988) Investigaciones ecológicas del plancton de Noroeste de México. Reporte técnico anual. CICIMAR-IPN, La Paz BCS, México
- 304. Cota-Meza M (2000) Análisis de la distribución de las poblaciones de quetognatos (Chaetognatha) en el complejo lagunar Bahía Magdalena, Baja California Sur durante el año de 1982. Tesis de Maestría Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas, La Paz, BCS, México
- 305. Cota-Meza M, Fernández-Alamo M (2000) Análisis de la composición alimenticia del quetognato Sagitta euneritica colectada en Bahía Magdalena, Baja California Sur. En: Ríos E, Juárez E, Pérez M, López E, Robles E, Hernández D, Silva M (eds), Estudios sobre plancton en México y el Caribe. Sociedad Mexicana de Planctología y Universidad de Guadalajara, p 27-28
- 306. Cota-Meza M, Haro-Garay M, Massé-Zendejas R (1992) Distribución y abundancia de quetognatos en el complejo lagunar de Bahía Magdalena Baja California Sur, México durante el ciclo estacional 1988-1989. Inv Mar CICIMAR 7:47-59
- De Silva-Dávila R, Carballido-Carranza M, Jaume S, Munguia A, Palomares-Garcia R, (2000) El zooplancton

en Bahía Magdalena, B. C. S. Durante El Niño 1997-98. En: Ríos E, Juárez E, Pérez M, López E, Robles E, Hernández D, Silva M (eds) Estudios sobre plancton en México y el Caribe. Sociedad Mexicana de Planctología y Universidad de Guadalajara, p 25-26

- 308. De Silva-Dávila R, Palomares-Garcia R, Martínez-López A, Carballido-Carranza M (2002) Standing stock of Nyctiphanes simplex in the southern region of the California Current System. J Plankton Res 24:1057-1066
- 309. García A, Briones P, Lozano E (1987) Observaciones sobre la abundancia y distribución de crustáceos decápodos planctónicos en la zona marino adyacente a Bahía Magdalena, B. C. S., Septiembre 1983. Mem V Simp Biol Mar UABCS
- 310. Gómez-Gutiérrez J (1990) Variación de la distribución y abundancia de los estadios planctónicos de *Pleuroncodes planipes* (Crustácea: Galatheidae) en la costa occidental de Baja California Sur, México (1986). Tesis de Licenciatura Universidad Autónoma de Baja California Sur, La Paz BCS, México
- 311. Gómez-Gutiérrez J (1995) Distribution patterns, abundance and population dynamics of the euphausiids Nyctiphanes simplex and Euphausia eximia in the west coast of Baja California, México. Mar Ecol Prog Ser 119:63-76
- 312. Gómez-Gutiérrez J (1996) Ecology of early larval development of Nyctiphanes simplex Hansen (Euphausiacea) off the southwest coast of Baja California, México. Bull Mar Sci 58:131-146
- 313. Gómez-Gutiérrez J, Sánchez-Ortíz CA (1995) Centros de eclosión y deriva larval y postlarval de la langostilla, *Pleuroncodes planipes* (Crustácea: Galatheidae), en la costa occidental de Baja California Sur. En: La langostilla, biología, ecología y aprovechamiento. Aurioles-Gamboa D, Balart EF (eds) Centro de Investigaciones Biológicas de Noroeste S.C., p 35-57
- 314. Gómez-Gutiérrez J, Sánchez-Ortíz C (1997) Larval drift and population structure of the pelagic phase of *Pleuroncodes planipes* (Stimpson) (Crustacea: Galatheidae) off the southwest coast of Baja California, México. Bull Mar Sci 61:305-325
- 315. Gómez-Gutiérrez J, Robinson CJ (2005) Embryonic, early larval development time, hatching mechanism and interbrood period of the sac-spawning euphausiid Nyctiphanes simplex Hansen. J Plankt Res 27:279-295
- 316. Gómez-Gutiérrez J, Robinson CJ (2006) Tidal current transport of epibenthic swarms of the euphausiid Nyctiphanes simplex in a shallow subtropical bay in Baja California Sur, México. Mar Ecol Progr Ser 320:215-231
- 317. Gómez-Gutiérrez J, De Silva-Dávila R, Lavaniegos-Espejo B (1996) Growth production of the euphausiid Nyctiphanes simplex on the coastal shelf off Bahía Magdalena, Baja California Sur, México. Mar Ecol Prog Ser 138:309-314
- 318. Gómez-Gutiérrez J, Palomares-García R, De Silva-Dávila R, Carballido-Carranza M, Martínez-Lopéz A (1999) Copepod daily egg production and growth rates in Bahía Magdalena, México. J Plankton Res 21:2227-2244
- 319. Gómez-Gutiérrez J, Palomares-García R, Hernández-Trujillo S, Carballido-Carranza M (2001) Community structure of zooplankton in the main entrance of Bahía Magdalena, México during 1996. Rev Biol Trop 49:545-558
- 320. Haro-Garay MJ (1983) Contribución al estudio de la variación espacial de la diversidad de los quetognatos durante el invierno (1981-1982) en Bahía Magdalena, Baja California Sur, México. Tesis de Licenciatura, Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas, La Paz, BCS, México

- 321. Hernández-Trujillo S (1984) Contribución al conocimiento de la distribución y abundancia de los copépodos frente a Bahía Magdalena, Baja California Sur. En el verano y otoño de 1982, Tesis de Licenciatura, Universidad Nacional Autónoma de México, México DF
- 322. Hernández-Trujillo S (1991) Copépodos pontellidos en Bahía Magdalena, Baja California Sur (Junio, Julio de 1988). Invest Mar CICIMAR. 6:155-163
- 323. Hernández-Trujillo S, Cervantes-Duarte R, Aguiñiga-García S (1997) Variación espacial y temporal de algunas variables físicas, químicas y biológicas en Bahía Magdalena, Baja California Sur. Rev Invest Cient 8:1-13
- 324. Hernández-Trujillo S, Esqueda-Escárcega G, Zarate-Villafranco A, Robinson CJ, Arenas-Fuentes V (2000) Variación circadiana del volumen de zooplancton en Bahía Magdalena, B. C. S., México. En: Ríos E, Juárez E, Pérez M, López E, Robles E, Hernández D, Silva M (eds), Estudios sobre plancton en México y el Caribe. Sociedad Mexicana de Planctología y Universidad de Guadalajara, p 57-58
- 325. Hernández-Trujillo S, Palomares-García P, López-Ibarra GA, Esqueda-Escárcega G, Pacheco-Chávez R (2004) Riqueza específica de copépodos en Bahía Magdalena, Baja California Sur, México. Anal Inst Biol Univ Nac Autón Méx Ser Zool 75(2):253-270
- 326. Hernández–Trujillo S, Zarate–Villafranco A, Esqueda– Escarcega GM (2005) Estudio inicial de la distribución vertical de biovolumen del zooplancton en Bahía Magdalena, Baja California Sur, México. Oceánides 20:9– 16
- 327. López-Ibarra GA (2002) Estructura de la taxocenosis de copépodos en Bahía Magdalena Baja California Sur, México, durante El Niño 1997/1998. Tesis de Maestría. Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas, La Paz, BCS, México
- 328. López-Ibarra AG, Palomares-García JR (2006) Estructura de la taxocenosis de copépodos en Bahía Magdalena, B.C.S., México, durante El Niño 1997/98. Rev Biol Mar Oceanog 41:63-76
- 329. Palomares-García R (1989) Análisis de la variación espaciotemporal de los copépodos planctónicos en Bahía Magdalena Baja California Sur (1983-1984). Tesis de Maestría, Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas, La Paz, BCS, México
- 330. Palomares-García R (1992) Análisis de la taxocenosis de los copépodos en el complejo lagunar de Bahía Magdalena-Almejas, B. C. S., durante 1985-1986. Cienc Mar 19:71-92
- 331. Palomares-García R, De Silva-Dávila R, Martínez-López A, Carballido-Carranza A, Gómez-Gutérrez J (2000) Crecimiento somático y producción de huevos de copépodos en Bahía Magdalena. En: Ríos E, Juárez E, Pérez M, López E, Robles E, Hernández D, Silva M (eds) Estudios sobre plancton en México y el Caribe. Sociedad Mexicana de Planctonología y Universidad de Guadalajara, p 29-30
- 332. Palomares-García R, De Silva-Dávila R, Martínez-López A, Hinojosa-Medina A, Avendaño-Ibarra R, y Funes-Rodríguez R (2001) El evento El Niño y 1997-1998 y su impacto sobre el zooplancton en Bahía Magdalena BCS En: Escobar E, Bonilla M, Badan A, Caballero M, Winckell A (eds), Los efectos del fenómeno El Niño en México 1997-1998. CONACYT, p 192-205
- 333. Palomares-García R, Gómez-Gutiérrez J (1996) Copepod community structure at Bahía Magdalena, México during El Niño 1983-1984. Est Coast Shelf Sci 43:583-595
- 334. Palomares-García R, Martínez-López A, De Silva-Dávila R, Funes-Rodríguez R, Carballido-Carranza A, Avendaño-

Ibarra R, Hinojosa-Medina A, López-Ibarra G (2003) Biological effects of El Niño 97-98 in a shallow subtropical ecosystem. Geof Int 45:455-466

- 335. Palomares-García R, Suárez-Morales E, Hernández-Trujillo S (1998) Catálogo de los copépodos (crustacea) pelágicos del Pacífico Mexicano. CICIMAR-ECOSUR, La Paz, BCS, México
- 336. Robinson CJ, Gómez-Gutiérrez J, Arenas-Fuentes V (1997) On the structure of a deep scattering layer on the coastal shelf off Bahía Magdalena, Baja California, México. Cienc

Mar 23:141-154

- 337. Sánchez-Ortíz CA, Gómez-Gutiérrez J (1992) Distribución y abundancia de los estadios planctónicos de la jaiba *Callinectes bellicosus* (Decapoda: Portunidae) en el complejo lagunar de Bahía Magdalena, BCS, México. Rev Invest Cient UABCS 3:47-60
- 338. Suárez-Morales E, Palomares-García R (1999) Cymbasoma californiense, a new monstrilloid (Crustacea: Copepoda: Monstrilloida) from Baja California, México. Proc Biol Soc Wash 112:189-198

Hinojosa–Medina A, Funes–Rodríguez R, Aceves–Medina G, Gómez–Gutiérrez J (2007) Evolución de la investigación científica en el complejo lagunar Bahía Magdalena-Almejas. En: Funes-Rodríguez R, Gómez-Gutiérrez J, Palomares-García R (eds) Estudios ecológicos en Bahía Magdalena. CICIMAR-IPN, La Paz, Baja California Sur, México, p 289-311

Impreso en el Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas, Instituto Politécnico Nacional. Ave. IPN s/n, Col. Playa Palo de Sta. Rita, 23096 La Paz, B.C.S. Tels: (612)122-5344, (612)122-5366; Fax:(612)122-5322 Enero de 2009. Edición 500 ejemplares