



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
CENTRO INTERDISCIPLINARIO DE CIENCIAS MARINAS



REGISTRO DE LA VARIABILIDAD
OCEANOGRÁFICA EN PECES DEMERSALES Y
DEPREDADORES TOPE DE LA ZONA OCEÁNICA
FRONTAL DE BAHÍA MAGDALENA, MÉXICO

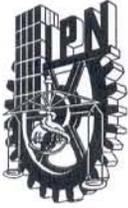
TESIS

QUE PARA OBTENER EL GRADO DE
DOCTOR EN CIENCIAS MARINAS

PRESENTA

JAIME MANUEL CAMALICH CARPIZO

LA PAZ, BAJA CALIFORNIA SUR, JUNIO DE 2011



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
SECRETARIA DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO
ACTA DE REVISIÓN DE TESIS

En la Ciudad de La Paz, B.C.S., siendo las 12:00 horas del día 9 del mes de Mayo del 2011 se reunieron los miembros de la Comisión Revisora de Tesis designada por el Colegio de Profesores de Estudios de Posgrado e Investigación de CICIMAR para examinar la tesis titulada:

**“REGISTRO DE LA VARIABILIDAD OCEANOGRÁFICA EN PECES DEMERSALES Y DEPREDADORES
TOPE DE LA ZONA OCEÁNICA FRONTAL DE BAHÍA MAGDALENA, MÉXICO”**

Presentada por el alumno:

CAMALICH Apellido paterno	CARPIZO materno	JAIME MANUEL nombre(s)							
		Con registro: <table border="1" style="display: inline-table; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="padding: 2px 10px;">B</td> <td style="padding: 2px 10px;">0</td> <td style="padding: 2px 10px;">7</td> <td style="padding: 2px 10px;">1</td> <td style="padding: 2px 10px;">2</td> <td style="padding: 2px 10px;">1</td> <td style="padding: 2px 10px;">4</td> </tr> </table>	B	0	7	1	2	1	4
B	0	7	1	2	1	4			

Aspirante de:

DOCTORADO EN CIENCIAS MARINAS

Después de intercambiar opiniones los miembros de la Comisión manifestaron **APROBAR LA DEFENSA DE LA TESIS**, en virtud de que satisface los requisitos señalados por las disposiciones reglamentarias vigentes.

LA COMISION REVISORA

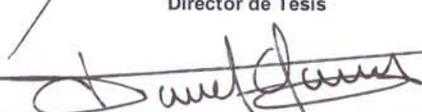
Directores de Tesis



DR. SÉRGIO AGUÍNIGA GARCÍA
 Director de Tesis



DR. EDUARDO FRANCISCO BALART PÁEZ
 Director de Tesis



DR. DAVID AURIOLES GAMBOA



DR. MANUEL JESÚS ZETINA REJÓN



DR. ALBERTO SÁNCHEZ GONZÁLEZ

PRESIDENTE DEL COLEGIO DE PROFESORES



DR. RAFAEL CERVANTES DUARTE IPN
 CICIMAR
 DIRECCION





**INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
SECRETARÍA DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO**

CARTA CESIÓN DE DERECHOS

En la Ciudad de La Paz, B.C.S., el día 09 del mes Mayo del año 2011
el (la) que suscribe MC. JAIME MANUEL CAMALICH CARPIZO alumno(a) del
Programa de DOCTORADO EN CIENCIAS MARINAS
con número de registro B071214 adscrito al CENTRO INTERDISCIPLINARIO DE CIENCIAS MARINAS
manifiesta que es autor (a) intelectual del presente trabajo de tesis, bajo la dirección de:
DR. SERGIO AGUÍNIGA GARCÍA y DR. EDUARDO FRANCISCO BALART PÁEZ
y cede los derechos del trabajo titulado:

“REGISTRO DE LA VARIABILIDAD OCEANOGRÁFICA EN PECES DEMERSALES Y DEPREDADORES TOPE
DE LA ZONA OCEÁNICA FRONTAL DE BAHÍA MAGDALENA, MÉXICO”

al Instituto Politécnico Nacional, para su difusión con fines académicos y de investigación.

Los usuarios de la información no deben reproducir el contenido textual, gráficas o datos del trabajo sin el permiso expreso del autor y/o director del trabajo. Éste, puede ser obtenido escribiendo a la siguiente dirección: jcamalich@gmail.com – saguiniga@gmail.com

Si el permiso se otorga, el usuario deberá dar el agradecimiento correspondiente y citar la fuente del mismo.



MC. JAIME MANUEL CAMALICH CARPIZO

nombre y firma



SIP-8 B1S

INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
SECRETARÍA DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO
PROGRAMA INDIVIDUAL DE ACTIVIDADES

Fecha

09	05	11
dd	mm	aa

De acuerdo a lo que marca el Reglamento vigente, conjuntamente con los lineamientos que la SIP determina, se notifica la modificación realizada al programa que fue asignado al ingreso del alumno:

CAMALICH CARPIZO JAIME MANUEL con registro

B	0	7	1	2	1	4
---	---	---	---	---	---	---

Apellido Paterno Apellido Materno Nombre (s)

admitido como alumno de tiempo: Completo: Parcial, al nivel de: Especialidad Maestría Doctorado

Para cursar el Programa de: DOCTORADO EN CIENCIAS MARINAS
 en la Escuela: CENTRO INTERDISCIPLINARIO DE CIENCIAS MARINAS (CICIMAR)

avalada por su Profesor Consejero y que el estudiante tendrá que cumplir para obtener su Diploma de Grado.

CLAVE	ASIGNATURA	CRED	CALIF	SEMESTRE	PERIODO	INSTITUCIÓN DONDE FUE CURSADA	FOLIO
3 2 7 7	SEMINARIO DE INVESTIGACIÓN I	00	9	B07	AG-DIC	CICIMAR	536
2 7 9 9	SEMINARIO I	02	8	B07	AG-DIC	CICIMAR	564
0 2 A 4 1 6 9	TEMAS SELECTOS EN CIENCIAS MARINAS	08	10	B07	AG-DIC	CICIMAR	525
3 2 7 8	SEMINARIO DE INVESTIGACIÓN II	00	10	A08	EN-JUN	CICIMAR	593
0 3 A 4 2 8 9	ECOPATH: MODELACIÓN Y DINÁMICA DE ECOSISTEMAS ACUÁTICOS	08	10	A08	EN-JUN	CICIMAR	1050 Maest
0 5 B 4 6 7 0	TRABAJO DE TESIS	00	9.5	A08	EN-JUN	CICIMAR	620
0 6 A 4 7 4 9	TEMAS SELECTOS EN DINÁMICA DE ZONAS COSTERAS Y MARINAS	08	10	A08	EN-JUN	CICIMAR	576
3 2 7 9	SEMINARIO DE INVESTIGACIÓN III	00	10	B08	AG-DIC	CICIMAR	650
0 8 A 5 3 3 1	ISÓTOPOS ESTABLES: ESTUDIOS DE PROCESOS BIOLÓGICOS Y FUNCIONAMIENTO DE ECOSISTEMAS	08	10	B08	AG-DIC	CICIMAR	675
2 8 0 0	SEMINARIO II	02	9.5	B08	AG-DIC	CICIMAR	667
0 5 B 4 6 7 0	TRABAJO DE TESIS	00	10	B08	AG-DIC	CICIMAR	673
0 6 B 4 8 2 3	SEMINARIO DE INVESTIGACIÓN IV	00	10	A09	EN-JUN	CICIMAR	710
0 5 B 4 6 7 0	TRABAJO DE TESIS	00	10	A09	EN-JUN	CICIMAR	729
2 8 0 1	SEMINARIO III	02	10	B09	AG-DIC	CICIMAR	775
0 6 B 4 8 2 4	SEMINARIO DE INVESTIGACIÓN V	00	10	B09	AG-DIC	CICIMAR	770
0 5 B 4 6 7 0	TRABAJO DE TESIS	00	10	B09	AG-DIC	CICIMAR	781
0 5 B 4 6 7 0	TRABAJO DE TESIS	00	10	A10	EN-JUN	CICIMAR	828
0 5 B 4 6 7 0	TRABAJO DE TESIS	00	10	B10	AG-DIC	CICIMAR	838

Total de créditos cursados:

38

Total de créditos por cursar:

0

Fecha límite para cubrir créditos y presentar examen de Grado:

30	06	11
d	m	a

EL INTERESADO

 MC. JAIME MANUEL CAMALICH CARPIZO

EL CONSEJERO DE ESTUDIOS

 DR. RAFAEL CERVANTES DUARTE

EL JEFE(A) DE SECCION O DIRECTOR(A) DEL CENTRO
 DR. RAFAEL CERVANTES DUARTE

Nota: Los estudiantes extranjeros deberán presentar originales de los antecedentes académicos autenticados por el Consulado Mexicano correspondiente

Dedicatoria

A Mattias Jacob Camalich Svensson por ser mi inspiración y ayudarme a ser una mejor persona, por tu paciencia y ojos llenos de asombro a todo cuanto tu loco padre intenta enseñarte.

Te adoro. Jag älskar dig.

A Elisabeth Svensson Camalich por tu tenacidad, amor y amistad. Por ser el brazo que me levantó en los momentos de desasosiego. Por compartir el sabor dulce amargo de la ciencia.

Te adoro. Jag älskar dig.

A mis padres Ana y Jaime, por su amor y dedicación. Por su ejemplo y tenacidad.

Los amo.

A mis hermanos Rodrigo y Antonio por su compañía y su amor.

El universo no sería lo mismo sin ustedes.

Agradecimientos

Al Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas, a todo su personal administrativo y logístico, por su apoyo y colaboración.

Gracias al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT) y al Programa Institucional de Formación de Investigadores (PIFI) del Instituto Politécnico Nacional por el apoyo económico otorgado durante mis estudios de doctorado. Al proyecto SEP-CONACyT 46806 titulado: “Relaciones tróficas del ecosistema en la zona de transición templado tropical: Calibración entre análisis estomacal e isótopos estables de carbono y nitrógeno” por el financiamiento para la colecta de muestras y análisis isotópico.

Al Centro de investigaciones Biológicas del Noroeste por su apoyo y facilidades para la realización de este trabajo en el Laboratorio de Recursos Nectónicos y Ecología de Arrecifes del, y por apoyo logístico mediante el proyecto EP2.0.

Al laboratorio de Química del Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas por su apoyo y facilidades para la realización de este trabajo.

Al Doctor Sergio Aguñiga y Doctor Eduardo Balart. Por su dirección académica ayuda y apoyo.

Al Doctor Sergio Aguñiga por su amistad, toda su invaluable ayuda y consejos.

Al Doctor Eduardo Balart por su amistad, por confiar en mí y por siempre estar en los momentos difíciles.

Al Doctor Alberto Sánchez. Por haberme introducido en el fascinante mundo de la isotopía.

A los Doctores David Auriolés y Manuel Zetina. Por sus comentarios, contribuciones y apoyo para concluir este proyecto.

A todo el comité revisor, un placer y honor trabajar con ustedes, mil gracias a cada uno.

A la Dra. Noemi Bocanegra Castillo (CIBNOR), Dr. Eduardo González (CICESE, La Paz), Dr. Fernando Aguirre (CICIMAR), y al Biol. Mar. Arturo Tecuapleta por su apoyo y colaboración.

A la tripulación del BIP XII (CIBNOR) por su entusiasmo y apoyo durante el trabajo de colecta en altamar.

Gracias a la familia Lluch-Cota. Por su amistad les estaremos siempre agradecidos!

A mis amigos (por orden alfabético): Antonio García Borbón, Carlos Albero López, Alfredo Miramontes, Alfredo y Anhel Pérez Morales, Juan Manuel Rodríguez-Barón, Griselda Rodríguez, Rocío Ronzón, Luis Salcido, Rebeca Sánchez, Yassir Torres.

A todos los amigos, compañeros y vecinos de escritorio con los que compartí interesantes pláticas y discusiones científicas y no tan científicas.

A mis compañeros y profesores del departamento de Oceanología por sus críticas y discusiones durante los seminarios.

Gracias a Elisabeth y Mattias por haberme soportado en este sabroso y doloroso camino. Son mi pila!

A toda la gente que se escapa de mi mente en este momento pero que contribuyó o estuvo al pendiente de mi estancia y trabajo en La Paz.

ÍNDICE

Glosario	i
Lista de Figuras	iv
Lista de Tablas	viii
Lista de Diagramas	x
Resumen	1
Abstract	4
1 Introducción	6
2 Antecedentes	9
2.1 La zona de mínimo de oxígeno (ZMO).....	10
2.2 Efecto de la ZMO en el ciclo del nitrógeno.....	10
2.3 Isótopos estables	11
2.3.1 Isótopos de nitrógeno.....	13
2.3.2 Isótopos de carbono.....	15
2.4 Contenido estomacal	16
2.5 Isótopos estables y contenido estomacal en estudios ecológicos.....	17
3 Área de estudio	19
4 Planteamiento del Problema	22
4.1 Flujo energético en condiciones de alta productividad.....	23
4.2 Flujo energético en condiciones de baja productividad.....	24
5 Hipótesis	28
6 Objetivos	29
7 Metodología	30
7.1 Colecta de muestras	30
7.1.1 Peces demersales.....	30
7.1.2 Fitoplancton y zooplancton	31
7.1.3 Mamíferos marinos varados en la zona de estudio	31
7.1.4 Sedimentos superficiales	31
7.1.5 Agua para análisis de $\delta^{15}\text{NO}_3^-$	32
7.2 Determinación de contenido estomacal	32
7.3 Preparación de muestras para análisis de isótopos estables	33
7.3.1 Peces demersales.....	33
7.3.1.1 Extracción de lípidos.....	33

7.3.2	Fitoplancton y zooplancton	34
7.3.3	Colecta y preparación de material orgánico particulado (MOP) para análisis de isótopos estables.	35
7.3.4	Sedimentos superficiales	35
7.3.5	Agua para análisis de $\delta^{15}\text{NO}_3$	36
7.3.6	Mamíferos marinos varados en la zona de estudio	36
7.4	Imágenes de satélite (oceanografía satelital).....	36
7.4.1	Productividad primaria neta (PPN).....	36
7.4.2	Temperatura superficial del mar (TSM)	37
7.5	Índices tróficos	37
7.5.1	Cálculo del índice relativo de importancia (IRI).....	37
7.5.2	Índice de Levin	40
7.5.3	Cálculo de nivel trófico	40
8	Resultados.....	42
8.1	Descripción oceanográfica	42
8.1.1	Temperatura superficial del mar (TSM) y productividad	42
8.1.2	Datos de CTD	45
8.1.3	Productividad primaria neta (PPN).....	47
8.2	Estructura diferencial de la comunidad de peces demersales	49
8.3	Contenido estomacal	51
8.3.1	<i>Citharichthys xanhostigma</i>	51
8.3.2	<i>Kathetostoma averruncus</i>	52
8.3.3	<i>Hippoglossina stomata</i>	53
8.3.4	<i>Prionotus albirostris</i>	54
8.3.5	<i>Synodus lucioceps</i>	55
8.3.6	<i>Zalietus elater</i>	56
8.3.7	<i>Diplectrum labarum</i>	57
8.3.8	<i>Lepophidium stigmatistium</i>	58
8.3.9	<i>Bellator gymnostethus</i>	59
8.3.10	<i>Merluccius angustimanus</i>	60
8.3.11	<i>Peprilus spp.</i>	61
8.3.12	Índice de Levin	62
8.3.13	Nivel trófico obtenido a partir del contenido estomacal.....	63
8.4	Isotopos estables de C y N	63
8.4.1	Peces Demersales	63
8.4.2	Extracción de lípidos	69
8.4.3	Señal isotópica de mamíferos marinos	70
8.4.4	Señal isotópica de nitratos ($\delta^{15}\text{NO}_3^-$).....	73
8.4.5	Señal isotópica del material sedimentario.....	74
8.4.6	Señal isotópica del material orgánico particulado (MOP).	76

9	Discusiones	78
9.1	Marco oceanográfico en la ZTTT-BAMA: Marzo de 2006 a Noviembre de 2007	78
9.2	Estructura diferencial de la comunidad de peces demersales frente a ZTTT-BAMA y su dinámica trófica	85
9.2.1	La langostilla (<i>Pleuroncodes planipes</i>) como especie clave en el flujo de energía de peces demersales en la ZTTT-BAMA	96
9.3	El efecto del fenómeno de “El Niño” moderado en el contenido estomacal y la señal isotópica de las especies analizadas	104
9.4	Comparación del $\delta^{15}\text{N}$ de tejido animal en el Pacífico Nororiental y en zonas de nitrificación	108
9.4.1	Peces	110
9.4.2	Cefalópodos	113
9.4.3	Decápodos	114
9.4.4	Mamíferos marinos	115
9.5	Valores altos de $\delta^{15}\text{N}$ en Pacífico Nororiental	118
9.6	Permanencia de la señal isotópica desde la base de la cadena trófica hasta niveles tróficos tope	121
9.6.1	Transferencia isotópica	121
9.6.2	Factor de discriminación (Δ)	121
9.6.3	Cálculo de Nt usando Δ y el $\delta^{15}\text{N}$ de la base de la cadena trófica temporal	124
9.7	Contraste del nivel trófico estimado por contenido estomacal y $\delta^{15}\text{N}$	128
10	Conclusiones	136
11	Referencias	140
12	Anexos	159

GLOSARIO

- Abundancia específica:** Número total de individuos registrados de una sola especie en un muestreo.
- Corriente marina:** Las corrientes marinas se dividen en corrientes inducidas por viento, que afectan los primeros 100 m de la columna de agua, y corrientes inducidas por cambios en la densidad (cambios termo-halinos). Es el transporte neto a lo largo de una trayectoria específica
- Demersal:** Se refiere a organismos móviles asociados al fondo de lagos y océanos, en el caso de las grandes trincheras oceánicas se denominan batiales o abisales.
- Desnitrificación:** Conjunto de reacciones del ciclo del nitrógeno (N) mediadas por bacterias heterotróficas, por medio de las cuales especies oxidadas de N son reducidas. El resultado final de este conjunto de reacciones es N_2 .
- Diversidad:** Es la relación que guarda la abundancia específica y la riqueza específica. La diversidad es medida como el inverso de la dominancia, por lo tanto indica como están distribuidas las especies en una área determinada de estudio.
- Enriquecimiento isotópico:** Incremento en la señal isotópica como resultado de la discriminación del isótopo pesado sobre el ligero por diferentes procesos físicos y biológicos
- Evento de surgencia:** Proceso oceanográfico en el cual aguas con elevada concentración de nutrientes y baja temperatura son bombeadas a la superficie como resultado del desplazamiento hacia la derecha en la capa superficial del mar, debido al efecto de Coriolis (en el hemisferio norte) cuando hay un forzamiento de viento paralelo a la costa que sopla de Norte a Sur.

Fenómeno de “El Niño”:	Es un fenómeno atmosférico – oceánico de gran escala caracterizado por un calentamiento anómalo de las aguas que se forman a lo largo del Pacífico central y ecuatorial.
Fraccionamiento isotópico (ϵ):	Se refiere al equilibrio y tasa de reacción (efecto kinético) que causa diferencias en la señal isotópica entre reactivos y productos en una reacción química.
Indice de Bakun:	Estimación del volumen de agua transportado de forma perpendicular a la costa ($m^3 \text{ sec}^{-1} 100 \text{ m}^{-1}$) durante un evento de surgencia.
Isótopo:	Átomos de un mismo elemento que ocupan la misma posición en la tabla periódica (numero de protones) pero con diferente numero de neutrones.
Masa de agua oceánica:	Es un cuerpo de agua oceánica identificable por sus propiedades físicas (temperatura, temperatura potencial, densidad y salinidad entre otras).
MEI:	Estima la magnitud del fenómeno de “El Niño”. Se calcula con seis variables atmosféricas y oceanográficas. Valores positivos indican señalan la presencia de una fase cálida mientras que valores negativos muestran la presencia de “La Niña” o fase fría.
Nitrificación:	Conjunto de reacciones del ciclo del nitrógeno (N) mediadas por bacterias por el cual especies reducidas de N (N_2 , número de oxidación = 0) incorporan oxígeno, formando moléculas oxidadas. El producto final de este conjunto de reacciones es NO_3^- (número de oxidación = 5)
Nivel trófico:	Posición que ocupa un organismo en la cadena trófica. El nivel trófico puede ser fraccional, lo cual indica que el nivel trófico puede variar temporal y espacialmente incluso en organismos de la misma especie respecto a los productores primarios quienes ocupan el primer nivel trófico.

- Nutriente:** Se refiere a sustancias o elementos químicos que no son sintetizados por los organismos y que son necesarios para el desarrollo de sus funciones.
- Productividad primaria:** Los productores primarios son los organismos capaces de sintetizar moléculas orgánicas a partir de precursores inorgánicos y luz solar. La tasa (C/ unidad de área/ tiempo) a la cual estos organismos sintetizan las moléculas es la medida de su productividad.
- Región oceánica:** Superficie oceánica que comparte características en forma temporal y espacial. En el presente estudio el término Región oceánica se utiliza para hacer referencia al área oceánica muestreada en un período dado.
- Riqueza específica:** Número de especies presentes en una comunidad muestreada.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Concentración de oxígeno (ml l^{-1}) en una capa de 300 m obtenida con datos de World Ocean Atlas (2010).	8
Figura 2. Relación que guardan los isotopos de N y C con respecto a su respectivo δ . La relación lineal se deriva de la solución de la ecuación 1 en la cual $^{15}\text{N}/^{14}\text{N}_{\text{Aire}} = 0.0036$ y $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}_{\text{PDB}} = 0.0112$	13
Figura 3. Región oceánica frente a Bahía Magdalena en la cual se presentan las mayores variaciones estacionales de la Corriente de California (CC) y la Corriente Norecuatorial (CNE).	19
Figura 4. Área de estudio y red de estaciones de muestreo. En el recuadro (SST) se señala el punto del cual se extrajeron datos para análisis de temperatura superficial del mar y productividad de 1998-2008.	30
Figura 5. Variabilidad de la temperatura superficial del mar y la concentración de clorofila en la zona de estudio.	42
Figura 6. Anomalías de temperatura calculadas con datos de satélite de 1997 a 2008 para la zona oceánica frente al Complejo Lagunar Bahía Magdalena-Almejas.	43
Figura 7. Anomalías de producción primaria calculadas con datos de satélite de 1997 a 2008 para la zona oceánica frente al Complejo Lagunar Bahía Magdalena-Almejas.....	44
Figura 8. Temperatura superficial del mar (TSM) promedio 2002-2007 (a, d) y durante cada muestreo (b, c, e, f).....	45
Figura 9. Masas de agua en la región oceánica frente a Bahía Magdalena. Los puntos azules son datos colectados durante el crucero realizado en primavera de 2006, los puntos negros son datos del crucero realizado en otoño de 2006. ASE: Agua superficial Ecuatorial ($S < 35$, Temp. $\geq 18^\circ\text{C}$); ACC: Agua de la Corriente de California ($S < 34.5$, Temp. $12 - 18^\circ\text{C}$); ASsST: Agua sub superficial sub tropical ($S 34.5 - 35$, Temp. $9 - 18^\circ\text{C}$).....	46
Figura 10. Masas de agua detectadas utilizando los datos colectados en el crucero IMECOCAL (línea 138 2007) en la región oceánica adyacente a Bahía Magdalena (A) y datos colectados durante Noviembre de 2007 en el crucero de Noviembre de 2007 (B). ASE: Agua superficial Ecuatorial ($S < 35$, Temp. $\geq 18^\circ\text{C}$); ACC: Agua de la Corriente de California ($S < 34.5$, Temp. $12 - 18^\circ\text{C}$); ASsST: Agua sub superficial sub tropical ($S 34.5 - 35$, Temp. $9 - 18^\circ\text{C}$).	47
Figura 11. Productividad primaria neta registrada en la zona oceánica frente a Bahía Magdalena B.C.S durante 2006.	48
Figura 12. Productividad primaria neta registrada en la zona oceánica frente a Bahía Magdalena B.C.S durante 2007.	48

Figura 13. Distribución de los peces demersales capturados en las cuatro temporadas durante 2006 y 2007 en la zona oceánica frente a Bahía Magdalena, B. C. S.	49
Figura 14. Contenido estomacal (%IRI) de <i>Citharichthys xanthostigma</i> frente a Bahía Magdalena B.C.S.	51
Figura 15. Contenido estomacal (%IRI) de <i>Kathetostoma averruncus</i> frente a Bahía Magdalena B.C.S.	52
Figura 16. Contenido estomacal (%IRI) de <i>Hippoglossina stomata</i> frente a Bahía Magdalena B.C.S.	53
Figura 17. Contenido estomacal (%IRI) de <i>Prionotus albirostris</i> frente a Bahía Magdalena B.C.S.	54
Figura 18. Contenido estomacal (%IRI) de <i>Synodus luccioiceps</i> frente a Bahía Magdalena B.C.S.	55
Figura 19. Contenido estomacal (%IRI) de <i>Zalietus elater</i> frente a Bahía Magdalena B.C.S.	56
Figura 20. Contenido estomacal (%IRI) de <i>Diplectrum labarum</i> frente a Bahía Magdalena B.C.S.	57
Figura 21. Contenido estomacal (%IRI) de <i>Lepophidium stigmatistium</i> frente a Bahía Magdalena B.C.S.	58
Figura 22. Contenido estomacal (%IRI) de <i>Bellator gymnostethus</i> frente a Bahía Magdalena B.C.S.	59
Figura 23. Contenido estomacal (%IRI) de <i>Merluccius angustimanus</i> frente a Bahía Magdalena B.C.S.	60
Figura 24. Contenido estomacal (%IRI) de <i>Peprilus spp.</i> frente a Bahía Magdalena B.C.S.	61
Figura 25. Índice de Levin calculado para las especies demersales capturadas en Marzo y Noviembre de 2006 y 2007 frente a Bahía Magdalena, B.C.S. Cuando el Índice de Levin es mayor a 0.6 estrategia trófica de la especie es generalista.....	62
Figura 26. Relación lineal (cuadros rojos) entre los datos de $\delta^{13}\text{C}$ de muestras sin extracción química de lípidos ($\delta^{13}\text{C}_{\text{sin corr}}$) y después de extracción química de lípidos ($\delta^{13}\text{C}_{\text{corr}}$). Los rombos azules corresponden a la relación entre muestras estandarizadas con la ecuación de Post (2007) y valores determinados antes de extracción química de lípidos ($\delta^{13}\text{C}_{\text{sin corr}}$).	69
Figura 27. Isótopos estables de C y N en mamíferos marinos varados colectados en la zona de estudio.	70
Figura 28. Señal isotópica del NO_3^- en el agua durante 2007 (A) y la relación que guardan con el logaritmo natural de su concentración en el agua ($\ln[\text{NO}_3^-]$) (B).	73

Figura 29. Comportamiento de la señal de $\delta^{13}\text{C}$ en material sedimentario durante A) Marzo de 2006, B) Marzo de 2007 y C) Noviembre de 2007.	75
Figura 30. Señal isotópica del material sedimentario colectado a diferentes profundidades en la zona de estudio.....	76
Figura 31. Isotopos estables de C y N en MOP (300 y 600 μm , este estudio), sedimento (este estudio), <i>N. simplex</i> (este estudio), MOP reportada por Silverberg et al (2004), copépodos (<i>P. robusta</i>) de la tesis de López-Ibarra (2008).	77
Figura 32. Anomalías de salinidad tomadas de la red de estaciones del IMECOCAL a) corresponde a profundidades de 10 m; b) corresponde a profundidades de 200 m. Los transectos 123 al 133 son considerados como la zona Sur de IMECOCAL. Modificado de Durazo (2009).....	79
Figura 33. Índice de Bakun de surgencia determinado en el área de estudio elaborada con datos obtenidos de PFEL-NOAA.	80
Figura 34. Diagramas de temperatura y salinidad de diferentes campañas de muestreo realizados en la porción sur de la red de cruceros IMECOCAL. La línea obscura representa el promedio calculado de 1997-2007, en rombos negros el año 2006 y en puntos negros el año de 2007 con mayor temperatura y salinidad.	81
Figura 35. Índice Multivariado del Fenómeno del Niño (MEI). Las anomalías positivas indican la presencia de un fenómeno “El Niño”, mientras que las anomalías negativas indican la presencia del fenómeno “La Niña”.	82
Figura 36. Prueba de factor realizada a los índices ecológicos y las variables ambientales.	88
Figura 37. Análisis de cluster realizado con el contenido estomacal (% IRI) de las especies muestreadas en la ZTTT-BAMA, durante Marzo de 20.....	90
Figura 38. Análisis de cluster realizado con el contenido estomacal (% IRI) de las especies muestreadas en la ZTTT-BAMA, durante Noviembre de 2006.	92
Figura 39. Análisis de cluster realizado con el contenido estomacal (% IRI) de las especies muestreadas en la ZTTT-BAMA, durante Marzo de 2007.....	93
Figura 40. Análisis de cluster realizado con el contenido estomacal (% IRI) de las especies muestreadas en la ZTTT-BAMA, durante Noviembre de 2007.	94
Figura 41. Biomasa de la langostilla (<i>P. planipes</i>) durante tres temporadas. La barra verde representa los valores de biomasa reportados por (Aurioles-Gamboa, 1995), en rojo los valores totales estimados durante el periodo de estudio para toda la costa oeste de Baja California Sur, y en azul la biomasa reportada para el área oceánica frontal a Bahía Magdalena durante el periodo de estudio (De Anda et al., 2008; E.F. Balart, Comm pers, 2008)...	97
Figura 42. Modelo exponencial del cambio en la señal isotópica de la langostilla en relación con la señal de $\delta^{15}\text{N}$. En negro se aprecia el punto de inflexión.....	98

Figura 43. Tallas de los cefalotórax medidos en langostillas contenidas en los estómagos de diferentes especies durante tres temporadas distintas.	100
Figura 44. Relación lineal (A) y exponencial (B) entre longitud del cefalotórax y diámetro ocular en 25 pares de datos de langostillas en contenido estomacal. Los puntos negros en la relación lineal no fueron considerados para el cálculo de R^2	101
Figura 45. Promedio de las tallas de cefalotórax (\pm DS) de langostilla, <i>P. planipes</i> , en los estómagos de los peces demersales incluyendo datos retrocalculados a partir de la estructura ocular. (Marzo de 2006 n= 28, Noviembre de 2006 n =34, Noviembre de 2006 n = 37).	102
Figura 46. Isotopos estables de C y N en músculo de <i>P. planipes</i> durante tres temporadas en la región oceánica frontal a Bahía Magdalena, B.C.S.	103
Figura 47. Mapa de los océanos mostrando los valores de N^* en dos isopícnas del proyecto WOCE (1990 – 2002). Tomado de Gruber (2008) A) corresponde a aguas subtropicales (300 m); B) corresponde a aguas de modo subpolar (800 m).	109
Figura 48. Valores de $\delta^{15}N$ en los diferentes elementos de la ZTTT analizados en este estudio.	120
Figura 49. Valores isotópicos de los elementos de una cadena trófica del Pacífico Nororiental cuyo punto final es el lobo marino (<i>Z. californianus</i>). Los símbolos \square representan la diferencia del valor isotópico entre el consumidor y la presa. El valor de <i>Pleuromamma robusta</i> se obtuvo de López-Ibarra (2008). La curva en la parte inferior indica temperatura ($^{\circ}C$).	123
Figura 50. Nivel trófico promedio de todas las especies demersales capturadas en la ZTTT-BAMA utilizando Δ , y $\delta^{15}N$ de la base de la cadena trófica estacional.	125
Figura 51. Nt de mamíferos varados en la zona de estudio utilizando Δ , y $\delta^{15}N$ de la base de la cadena trófica estacional.	127
Figura 52. Regresión lineal del cálculo de Nivel trófico (Nt) utilizando $\delta^{15}N$ y el contenido estomacal. Las líneas punteadas representan el intervalo de confianza de 95 % y las líneas rojas el intervalo del valor esperado.	130
Figura 53. Comparación del nivel trófico calculado utilizando el contenido estomacal (Nt CE) y utilizando el $\delta^{15}N$ ($Nt \delta^{15}N$) durante Marzo (A) y Noviembre (B) de 2006. Los asteriscos muestran diferencias estadísticas (Mann-Whitney $_{\alpha=0.05}$).	132
Figura 54. Comparación del nivel trófico calculado utilizando el contenido estomacal (Nt CE) y utilizando el $\delta^{15}N$ ($Nt \delta^{15}N$) durante Marzo (A) y Noviembre (B) de 2007. Los asteriscos muestran diferencias estadísticas (Mann-Whitney $_{\alpha=0.05}$).	134

Figura 55. Regresión lineal entre los isótopos de C y N señalando los datos observados y después de su estandarización.	160
Figura 56. Correlación entre el C:N y la diferencia entre los valores observados y corregidos de $\delta^{13}\text{C}$	160

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Abundancia natural de los isotopos estables utilizados en estudios ecológicos.	12
Tabla 2. Peces con contenido estomacal más abundantes (porcentaje de la captura) presentes en las cuatro temporadas de muestreo.....	50
Tabla 3. Nivel trófico de las especies de los peces durante las cuatro campañas de muestreo frente a Bahía Magdalena, B.C.S. calculado a partir de los valores de IRI. (A.M = ausente en el muestreo; Sin cont = Sin contenido estomacal)	63
Tabla 4. Descriptores estadísticos por temporada de la señal de $\delta^{13}\text{C}$ y $\delta^{15}\text{N}$ en musculo de peces demersales colectados en la zona oceánica frente a Bahía Magdalena.....	64
Tabla 5. Prueba de Mann-Whitney ($\alpha = 0.05$) realizada a la señal isotópica de C y N en músculo de peces demersales colectados en la zona oceánica frente a Bahía Magdalena.....	65
Tabla 6. Isótopos estables de C y N (‰) en tejido de músculo de peces demersales colectados durante las campañas de muestreo de 2006 y 2007.....	66
Tabla 7. Especies que presentaron diferencias estadísticas (Mann-Whitney $\alpha=0.05$) en $\delta^{13}\text{C}$ en las comparaciones realizadas de forma intra e inter anual.	67
Tabla 8. Especies que presentaron diferencias estadísticas (Mann-Whitney $\alpha=0.05$) en $\delta^{15}\text{N}$ en las comparaciones realizadas de forma intra e inter anual.	68
Tabla 9. Prueba de estadística de Mann-Whitney ($\alpha=0.05$) realizada a los depredadores tope varados en la zona de estudio.....	72
Tabla 10. Índices de diversidad calculados para los periodos de muestreo en la ZTTT-BAMA.	86
Tabla 11. Comparación de isotopos estables y presa dominante durante Marzo de 2006 y 2007.....	107
Tabla 12. Tabla comparativa de datos isotópicos en diferentes especies de peces seleccionadas por ser contrastantes con la señal isotópica de peces colectados en el Pacífico Nororiental.....	111
Tabla 13. Comparación entre valores de $\delta^{15}\text{N}$ de cefalópodos colectados en la zona del Pacífico Nororiental y en dos zonas del Atlántico.....	114
Tabla 14. Comparación entre los valores de $\delta^{15}\text{N}$ de decápodos colectados en la zona del Pacífico Nororiental y el Atlántico	115
Tabla 15. Comparación de valores de $\delta^{15}\text{N}$ obtenidos de mamíferos marinos que habitan en el Pacífico Nororiental y diversas zonas del Atlántico.....	117
Tabla 16. Nivel trófico de peces demersales. Calculados incorporando $\delta^{15}\text{N}$ de músculo, valores temporales de Δ y base de la cadena trófica.	159
Tabla 17. Índice de Levin calculado para las temporadas de muestreo y especies presentes con contenido estomacal.	159

Tabla 18. Índice de Morisita calculado por las 4 temporadas de muestreos, Marzo de 2006, Noviembre de 2006, Marzo de 2007 y Noviembre de 2007 (A, B, C, D, respectivamente).....	161
Tabla 19. Pruebas estadísticas realizadas a los valores isotópicos de las diferentes especies de peces demersales colectados en la zona oceánica frente a Bahía Magdalena.....	163

LISTA DE DIAGRAMAS

- Diagrama 1. Expone las rutas del flujo de energía en la zona de estudio durante el escenario oceanográfico de surgencia, en el cual aguas con elevada concentración de nutrientes favorecen una elevada productividad primaria. 24
- Diagrama 2. Expone el flujo energético en la zona de estudio en el escenario oceanográfico de intrusión de aguas tropicales empobrecidas en nutrientes, lo cual no favorece una alta productividad primaria, teniendo otras fuentes de materia orgánica o el enlace microbiano mayor peso en la transferencia de energía en la región estudiada. 25

RESUMEN

La región oceánica frente al complejo Lagunar de Bahía Magdalena-Almejas presenta una marcada variabilidad estacional en sus parámetros físico-químicos y biológicos como consecuencia de presencia estacional de la Corriente de California (CC) y la Corriente Norecuatorial (CNE), por lo que esta área geográfica ha sido denominada como la zona de transición templado tropical (ZTTT). A pesar de la variabilidad introducida por el forzamiento oceanográfico y del cambio estacional en la productividad primaria hasta en un orden de magnitud de Marzo a Noviembre, la región sustenta comunidades de crustáceos, peces y mamíferos marinos durante todo el año, lo que sugiere que el flujo de energía, en términos de carbono y nitrógeno, podría tener vías alternas cuando la productividad en el área es menor. Con el fin de detectar si el forzamiento oceanográfico genera un cambio trófico, y si éste es registrado en especies residentes en la escala temporal, se describió el marco oceanográfico y se estimó la dinámica trófica usando contenido estomacal e isótopos estables de carbono y nitrógeno ($\delta^{13}\text{C}$ y $\delta^{15}\text{N}$) de músculo dorsal de peces demersales e isótopos estables ($\delta^{13}\text{C}$ y $\delta^{15}\text{N}$) de musculo de mamíferos marinos (*Zalophus californianus*, *Tursiops truncatus*) varados en la zona de estudio.

La colecta de muestras se realizó durante los meses de Marzo y Noviembre de 2006 y 2007. El criterio de selección de las especies biológicas colectadas responde a la baja movilidad y fidelidad a la zona en el caso de los peces demersales, y a la fidelidad a la zona de alimentación, crianza y reproducción en el caso de los mamíferos marinos. En cada estación de la red de estaciones se colectó agua de distintas profundidades con botellas Niskin, se realizaron lances de CTD para determinar la conductividad, temperatura y densidad, además de sedimentos superficiales mediante draga; Adicionalmente se realizó un análisis de imágenes satelitales de temperatura superficial del mar (TSM), clorofila a (Chl_a), y un modelo estimativo de la productividad primaria neta (PPN). Los índices MEI (Índice multivariado del fenómeno de “El Niño”) y el Índice de surgencia de Bakun (ISB) también fueron estimados. El aspecto biótico correspondió a la colecta de zooplancton con red bongo de 600 μm y peces demersales con una red de arrastre de 20 m con luz de malla de 30 mm; el músculo de los mamíferos marinos se obtuvo de individuos recientemente varados en Isla Margarita. Los peces demersales fueron identificados y su contenido estomacal analizado mediante los métodos numérico, gravimétrico y de frecuencia de ocurrencia, y sintetizado en términos porcentuales del índice relativo de importancia (%IRI). Las muestras de los organismos colectados, el sedimento superficial, material orgánico particulado (MOP) y los nutrientes nitrogenados fueron analizados para determinar su composición elemental e isotópica de carbono y nitrógeno. El valor promedio de enriquecimiento isotópico depredador-presa (Δ) representativo del área de estudio

utilizando una ruta trófica lineal desde el material orgánico particulado (MOP) al depredador tope del área (*Zalophus californianus*) fue determinado.

El análisis de la información generada mediante los lances de CTD, de la TSM, del ISB y el modelo de PPN indicaron que la variabilidad entre primavera y otoño de los años 2006 y 2007 en la zona oceánica frente a Bahía Magdalena estuvo asociada al relajamiento de las surgencias y el flujo de la CC hacia el sur. Sin embargo, durante Marzo de 2007 se detectó una anomalía positiva (~ 4 °C) de la TSM, presencia de agua subsuperficial ecuatorial (ASSE) y valores positivos de MEI (> 1) indicando condiciones moderadas del fenómeno de “El Niño”. El impacto del forzamiento oceanográfico temporal se registró en el número de especies demersales capturadas y en el índice de diversidad de Shannon (H'), registrándose un mayor valor de H' durante los muestreo de Marzo con respecto al de Noviembre para ambos años. Un análisis de componentes principales indicó que la riqueza específica se relacionó positivamente con el ISB y negativamente con la TSM (factor 1 vs factor 2 = 95%).

El contenido estomacal de las especies de peces demersales capturadas estuvo dominado por la presencia de crustáceos, entre los que destacaron *Nyctiphanes simplex* y *Pleuroncodes planipes*. Durante las temporadas de Marzo de 2007 la biomasa de *P. planipes* decreció considerable en la región de estudio lo cual también se asoció con una presencia menor en los contenidos estomacales. *Kathetostoma averruncus* aunque presentó un dominio en el contenido estomacal (% IRI > 90) de *P. planipes* durante todas las temporadas de 2006 y 2007, presentó diferencias isotópicas significativas en $\delta^{13}\text{C}$ y $\delta^{15}\text{N}$, lo cual sugiere que la señal isotópica de su dieta guarda relación con la temporalidad característica de la ZTTT y sus masas de agua asociadas. La abundancia, diversidad, contenido estomacal y señal isotópica de los peces demersales reflejan la variabilidad de las masas de agua en la ZTTT. El proceso de desnitrificación de la zona parece tomar mayor importancia en las condiciones de otoño con la intrusión de masas de agua tropicales. La señal de $\delta^{15}\text{N}$ de las especies colectadas fueron significativamente mayores a especies con niveles tróficos equivalentes en otras regiones oceánicas en las cuales el proceso de desnitrificación no es intenso. El valor promedio de enriquecimiento isotópico depredador-presa (Δ) fue dinámico (2.5-2.9) y varió negativamente con el forzamiento oceanográfico estacional. El valor Δ resultó 1 parte por mil menor que los Δ reportados para latitudes de más de 45 °N. Adicionalmente se detectó que la variabilidad de la estimación del nivel trófico obtenido por $\delta^{15}\text{N}$ y por contenido estomacal incrementó en especies que se alimentan de pelágicos menores y zooplancton. Esta variabilidad es mayor al nivel de depredadores tope, como lo evidenció el incremento de la desviación estándar.

La variación climática anómala detectada durante Marzo de 2007 fue registrada en *P. planipes*, peces demersales y depredadores tope, lo cual sugiere el impacto que puede ocasionar un fenómeno de “El Niño” de mayor escala y duración en el ecosistema costero frontal a Bahía Magdalena. Se resalta el enriquecimiento en la señal isotópica de nitrógeno desde los NO_3^- en relación con la intensa desnitrificación en la región oceánica estudiada y su transferencia a subsecuentes niveles tróficos.

ABSTRACT

The oceanic region in front of Bahía Magdalena has a clear seasonal variability in physicochemical and biological properties as a consequence of the intermittent presence of the California Current (CC) and the North Equatorial Current (CNE), and has therefore been denominated as the Temperate-Tropical Transition Zone (ZTTT). Despite the variability caused by the oceanographic forcing and the seasonal change in primary production of as much as an order of magnitude between March and November, the region sustains communities of crustaceans, fishes and marine mammals over the whole year. This suggests that the energy flow, in terms of carbon and nitrogen, could use alternative routes during times when productivity is low. To determine if the oceanographic forcing cause temporal variability of trophic dynamics, and if this variability is registered in the resident species, stable isotopes ($\delta^{13}\text{C}$ and $\delta^{15}\text{N}$) and stomach content of demersal fishes and stranded marine mammals were analyzed and the oceanographic characteristics of the study area were established.

Samples were collected during March and November of 2006 and 2007. The criteria for the selection of the collected biological species was based on their low mobility and food fidelity in the case of the demersal fishes, and in feeding, breeding and reproduction site fidelity for the marine mammals. For each station demersal fishes were collected using a bongo net (600 μm), sediments were collected using a Smith-McIntyre grab, water samples were collected at different depths using Niskin bottles, and CTD casts were done for the determination of conductivity, temperature and density at the time of sampling. The demersal fishes were identified and their stomach content was analyzed using numerical, gravimetric and occurrence frequency methods, from which the percentages of the index of relative importance (%IRI) were calculated. Samples of collected organisms, superficial sediments and particulate organic material were analyzed to determine their elemental and isotopic ($\delta^{13}\text{C}$ and $\delta^{15}\text{N}$) composition. The concentration of nitrogen-containing nutrients (NO_3^- , NH_4^+) and the isotopic signal of nitrate ($\delta^{15}\text{-NO}_3^-$) were determined in water samples. The representative average value for the study area of the isotopic enrichment between predator-prey (Δ) was determined using a linear trophic route from particulate organic material (MOP) to the top predator of the area (*Zalophus californianus*). In addition satellite images of sea surface temperature (TSM), chlorophyll a (Chla) were analyzed and the net primary production (PPN) was estimated using a model. The MEI index (the multivariate index of the El Niño phenomenon) and the Bakun upwelling index (ISB) were calculated.

Analysis of the information generated from the CTD casts, the TSM, the ISB and the PPN model indicated that the variability between spring and fall for the years 2006 and 2007 in the oceanic area in front of Bahía Magdalena were associated with a relaxation of upwelling and the southern flow of the CC. However, during March 2007 a positive

anomaly was detected (~ 4 °C) in the TSM, which together with the presence of subsuperficial equatorial waters (ASSE) and positive values in the MEI index (>1) indicated moderate El Niño conditions. The impact of the temporal oceanographic forcing was registered in the number of captured demersal species and in the Shannon diversity index (H'), with a higher H' registered during the March sampling compared to November for both years. A principal component analysis indicated that the specific richness was positively related to the ISB and negatively with the TSM (factor 1 vs factor 2 = 95%).

The stomach content of the captured species of demersal fishes was dominated by the presence of crustaceans, of which *Nyctiphanes simplex* and *Pleuroncodes planipes* were the most prevalent. During the March 2007 season the biomass of *P. planipes* decreased considerably in the study area which was also associated with a lower presence of this specie in the stomach content. Although the stomach content of *Kathetostoma averruncus* was dominated by *P. planipes* (% IRI > 90) in both seasons of 2006 and 2007, there were significant isotopic differences in $\delta^{13}\text{C}$ and $\delta^{15}\text{N}$, which suggests that the isotopic signal of its diet preserves the temporal characteristics of the ZTTT and its associated water masses. Thus the abundance, diversity, stomach content and the isotopic signal of the demersal fishes reflect the variability of water masses in the ZTTT. The process of denitrification in the area seems have a larger importance during fall conditions with the intrusion of tropical water masses. The $\delta^{15}\text{N}$ signal of the collected species was significantly higher compared to species from the same trophic levels in other regions where denitrification is less intense. The average value of the predator-prey isotopic enrichment (Δ) was dynamic (2.5-2.9) and had a negative relation to the seasonal oceanographic forcing. The Δ -value was 1 part per mil lower than the Δ -values reported for latitudes over 45 °N. In addition, it was detected that the variability of the trophic level estimation obtained from $\delta^{15}\text{N}$ and stomach content increased in species that feed off small pelagic fishes and zooplankton. This variability was larger at the top predator level, as evidenced by an increase in the standard deviation.

The anomalous climatic variation detected during March 2007 was registered in *P. planipes*, demersal fishes and top predators in the area, which shows the impact a major, in scale and duration, El Niño event could have on the ecosystem in front of Bahía Magdalena. The enrichment in the nitrogen-isotope signal of NO_3^- , a consequence of the intense denitrification in the oceanic region, which is transferred to the following trophic levels, is highlighted.

1 INTRODUCCIÓN

La zona oceánica frente a Bahía Magdalena en conjunto con el Golfo de Ulloa ha recibido particular interés debido a su alta producción secundaria y diversidad biológica. Estas regiones son catalogadas como centros de actividad biológica (BAC) caracterizados por sustentar importantes biomasas de organismos a lo largo del año (Lluch-Belda, 2000). Lo anterior es reflejado en importantes descargas de pelágicos mayores, pelágicos menores, crustáceos y moluscos en Puerto San Carlos, destacándolo como el principal puerto pesquero de Baja California Sur (Bizzarro, 2008).

La presencia estacional de las corrientes de California y Norecuatorial (CC y CNE) en la zona oceánica frente a Bahía Magdalena generan cambios importantes en algunas variables oceanográficas (e.g. salinidad y temperatura superficial del mar) hecho que marca la frontera conocida como la zona de transición templado tropical (ZTTT) del Pacífico Nororiental (Moser et al., 1987; Durazo y Baumgartner, 2002; Durazo, 2009). Los límites de la ZTTT han tenido cambios latitudinales en escala estacional y geológica aunque la región en la que se detectan cambios más conspicuos corresponden a la zona oceánica frente a Bahía Magdalena (Lluch-Belda et al., 2003; Durazo, 2009).

La época de mayor productividad en el área (primer semestre del año) está relacionada con los eventos de surgencia de mayor intensidad y frecuencia, los cuales inyectan en el área aguas frías y enriquecidas en nutrientes (principalmente NO_3^-) (Lyle et al., 2000; Durazo y Baumgartner, 2002; Zaytsev et al., 2003; Zaytsev et al., 2007; Durazo, 2009). Durante la época de alta productividad algunas especies importantes en el flujo de la energía de la región, como la sardina (*Sardinops sagax*) y la langostilla (*Pleuroncodes planipes*) sincronizan sus períodos reproductivos, posiblemente como una estrategia de éxito, y deriva larvaria (Robinson et al., 2007a; Robinson et al., 2007b).

Considerando que la productividad primaria varía hasta en un orden de magnitud entre la temporada de invierno – primavera y la temporada cálida de verano – otoño (e.g. González-Rodríguez, 2008), resulta difícil de explicar la permanencia de distintos

grupos de organismos en el área. En particular la presencia de una colonia de lobos marinos de la especie *Zalophus californianus* localizados en la Isla Margarita ya que esta especie es indicadora de zonas de alta producción marina al establecer sus colonias en relación a la disponibilidad de alimento para asegurar su reproducción y la crianza de sus cachorros (Hobson et al., 1997). Como una hipótesis del sustento de las redes tróficas durante la temporada de menor productividad primaria en el BAC de Bahía Magdalena, Aguíñiga (2000) propone el reciclamiento de nutrientes, indicando que la actividad bacteriana y un flujo de energía orientado al enlace microbiano (Azam et al., 1982) tiene mayor importancia en este período del año. Aunque también es probable que el intercambio de materiales entre la zona oceánica y Bahía Magdalena adquiera relevancia en conjunto con fuentes de energía disponibles a los organismos residentes del área en períodos de menor productividad. Otras probables explicaciones son que los organismos residentes no se vean afectados por la productividad primaria, ya que la base de su cadena trófica no es el fitoplancton, o que cambien de estrategias alimentarias en función de las especies más abundantes.

Por otro lado un elemento particularmente importante y abundante en la red trófica del área es la langostilla (*Pleuroncodes planipes*) al ser registrada como elemento en la dieta de diversos grupos taxonómicos (Aurioles-Gamboa y Balart, 1995; Balart y Castro-Aguirre, 1995; Balart, 1996; Sánchez-Aguilar, 2001; Longhurst, 2004). Se ha sugerido que la agregación de mamíferos marinos de gran tamaño en las regiones de mayor productividad se debe a la gran abundancia de la langostilla (Longhurst, 2004). Debido a la amplitud de su hábitat (columna de agua en su fase larvaria y bentos en la fase adulta) esta especie es considerada como un importante intermediario entre los productores primarios y depredadores superiores (Aurioles-Gamboa, 1995; Balart y Castro-Aguirre, 1995; Balart, 1996). Su rango de distribución es amplio aunque encuentra su pico en la zona oceánica frente a Bahía Magdalena (Aurioles-Gamboa y Balart, 1995; Perez-Flores y Aurioles-Gamboa, 1995; Sánchez-Aguilar, 2001) en donde su biomasa ha sido calculada en más de 400 mil toneladas (Aurioles-Gamboa, 1995). Su presencia está asociada a regiones oceánicas (Figura 1) en las cuales la concentración de oxígeno pueden ser condicionantes para el desarrollo de funciones

biológicas (Vaquer-Sunyer y Duarte, 2008) conocidas como zonas de mínimo de oxígeno (ZMO).

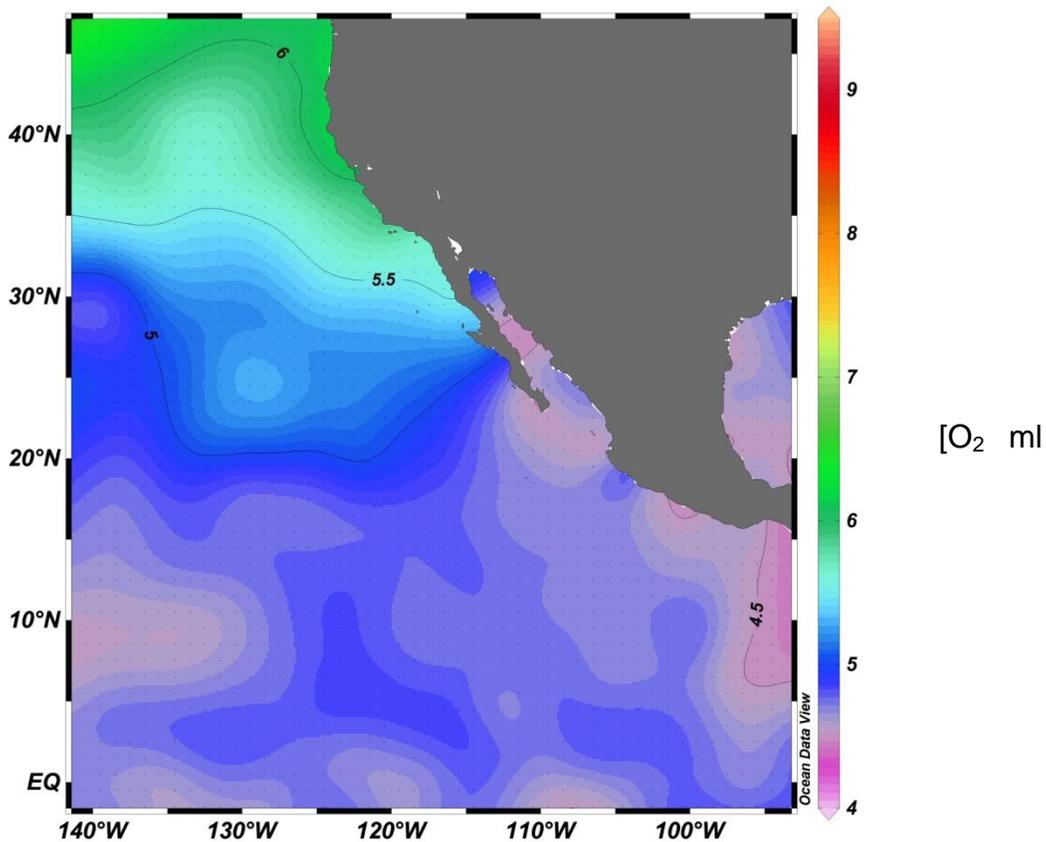


Figura 1. Concentración de oxígeno (ml l^{-1}) en una capa de 300 m obtenida con datos de World Ocean Atlas (2010).

Con el fin de detectar la influencia del forzamiento oceanográfico en las especies residentes de la ZTTT se propone una aproximación biogeoquímica y de estructura trófica que integra información a diferentes escalas de tiempo, en conjunto con información de imágenes de satélite y datos de información de la estructura física del océano tomado *in situ* al momento del muestreo en una región oceánica en la cual el proceso de desnitrificación en la columna de agua y sedimento puede jugar un rol determinante en la transferencia de carbono.

2 ANTECEDENTES

Existen diversos estudios realizados en el interior de Bahía Magdalena enfocados en el manejo de los recursos pesqueros y la descripción taxonómica de diferentes grupos. Una revisión de las tesis realizadas en el CICIMAR llevadas a cabo en esta área mostro un total de 22 productos incluidos tesis de maestría y doctorado.

En la zona oceánica frente a Bahía Magdalena, Mercuri (2007) describió algunas variables físicas en relación con los varamientos de mamíferos marinos, encontrando relación entre estos eventos y la mayor intensidad de surgencias en el área.

La tesis de Rodriguez-Valenzuela (2009) logra discriminar distintos tipos de ácidos grasos en dos rutas tróficas del lobo marino (*Zalophus californianus*) en relación con las temporadas de mayor y menor productividad en la zona de Bahía Magdalena. Este trabajo resalta la importancia del componente bacteriano en la transferencia de energía de la región en el momento del año con menor productividad.

El libro editado por Funes et al (2007) resalta por recopilar estudios biológicos, ecológicos, oceanográficos y sociales incluyendo una descripción detallada de la dinámica física (circulación) en el interior de la Bahía.

Un componente conspicuo de la zona de estudio es el crustáceo galateido *Pleuroncodes planipes*. Diversos estudios han resaltado la relevancia de su biomasa en la cadena trófica bentónica y pelágica. Los trabajos realizados por Longhurst (2004), fueron los pioneros en registrar y describir la especie en las costas del Pacífico Nororiental. Algunos otros más recientes como el de Etnoyer et al (2006) señalan agregaciones de pelágicos mayores en relación con frentes térmicos en la región. Sin embargo estas agregaciones pueden deberse a la presencia de *P. planipes* que es atrapada en estos frentes y que constituye una fuente importante de alimento para diversos eslabones de la cadena trófica. La recopilación realizada por Auriolles-Gamboa y Balart (1995) sobre el estudio de la langostilla resalta la importancia de este decápodo en la transferencia de energía a lo largo de la cadena trófica en la región de Baja California Sur, además de las características del recurso para su explotación.

2.1 La zona de mínimo de oxígeno (ZMO)

Las zonas costeras que registran intensos eventos de surgencia tiene tasas de productividad primaria elevada debido al aporte de aguas enriquecidas en nutrientes, la descomposición de la materia orgánica en hundimiento en la capa intermedia del océano genera una intensa demanda de oxígeno. Regiones particulares del océano es posible detectar una capa subsuperficial con concentración de oxígeno es menor a 20 μM originada al combinarse una intensa productividad costera se con un pobre intercambio de agua (Chavez y Messié, 2009). En el océano moderno hay por lo menos cuatro zonas en las cuales se conoce la presencia de ZMO. De acuerdo con los resultados de Helly y Lavin (Helly y Levin, 2004) la OMZ que se registra en frente de la Península de Baja California (Figura 1) tiene una extensión de más de 1000 m de profundidad y puede ser perceptible desde los primeros 100 m de profundidad lo cual la apunta como la más ancha y somera del Pacífico.

La zona de mínimo de oxígeno tiene importantes implicaciones en la distribución espacial y diversidad de las especies funcionando como verdaderas barreras biogeográficas limitando el movimiento de las poblaciones a través de la plataforma continental. Recientemente se ha demostrado la expansión de las ZMO (Stramma et al., 2008) lo cual puede tener consecuencias en la circulación del océano, su temperatura y productividad. (Helly y Levin, 2004).

2.2 Efecto de la ZMO en el ciclo del nitrógeno

La zona de estudio está centrada en una región oceánica en la cual importantes procesos relacionados con el ciclo del nitrógeno se llevan a cabo. La zona del Pacífico Nororiental es una de las tres regiones del océano en las cuales se presenta una tasa de pérdida del N muy intensa debido a la ZMO (Gruber y Sarmiento, 1997; Yamagishi et al., 2007) que tiene la particularidad de alcanzar su punto más somero cercano a las costas de Baja California Sur (Helly y Levin, 2004; Stramma et al., 2008). La desnitrificación es un proceso heterotrófico bacteriano que se ve favorecido en condiciones suboxicas y anaeróbicas en el cual los óxidos de N son utilizados como

aceptores de electrones para metabolizar el C teniendo como especie nitrogenada resultante N molecular (Devol, 2008).

La desnitrificación puede ser descrita por la siguiente reacción:



Otro proceso de pérdida de N importante en el océano es el proceso de anammox, descrito por Kuypers et al (2003), aunque ha sido detectado en el océano y parece ser el responsable de la pérdida de N fijado en el Mar de Bengala, parece ser un proceso muy localizado y que al competir con el proceso de desnitrificación tendría menor importancia global.

Los procesos de pérdida de N (desnitrificación) afectan la producción primaria directamente en dos formas:

- i. Modifica las formas oxidadas de N importantes en las reacciones catabólicas al consumir de 3 – 4 veces más rápido el isótopo más abundante (^{14}N) en relación con el más pesado isótopo ^{15}N (Tabla 1) (Cline y Kaplan, 1975).
- ii. En regiones en las cuales el NO_3^- ha sido transformado por procesos de desnitrificación su señal isotópica puede ser tan alta como 17 ‰ (ver sección 2.3 Isótopos estables) (Brandes et al., 1998), lo cual origina un enriquecimiento isotópico que se transfiere a los productores primarios y sucesivamente a lo largo de la cadena trófica.

2.3 Isótopos estables

La determinación de isótopos estables es una técnica utilizada en sus inicios en el área de la geoquímica pero que en épocas recientes ha tenido aplicación en diversos campos como la ecología, medicina forense y la oceanología por mencionar algunos. Esta técnica se basa en la abundancia natural de los isótopos pesados (^{13}C , ^2H , ^{18}O , ^{15}N , ^{34}S) con respecto a los más ligeros y abundantes (^{12}C , ^1H , ^{16}O , ^{14}N , ^{32}S ; Tabla 1).

Tabla 1. Abundancia natural de los isotopos estables utilizados en estudios ecológicos.

Elemento	Masa atómica (Abundancia %)		Masa atómica (Abundancia %)		Estándar
C	12	(98.9)	13	(1.11)	PeeDee Belemnite (PDB)
H	1	(99.99)	2	(0.015)	SMOW
O	16	(99.8)	18	(0.20)	SMOW
N	14	(99.63)	15	(0.37)	Aire
S	32	(95)	34	(4.2)	Canyon Diablo meteorito

La composición isotópica es generalmente expresada en términos de valores de δ (delta) que son las partes por mil (‰) de diferencia relativa de una muestra con respecto a un estándar, como se representa en la Tabla 1:

$$\delta X(\text{‰}) = \left[\frac{R_{\text{muestra}}}{R_{\text{std}}} - 1 \right] \times 10^3 \quad \text{Ecuación 2}$$

En donde:

X puede ser ^{13}C , ^2H , ^{18}O , ^{15}N o ^{34}S

R_{muestra} corresponde a la razón del isótopo pesado y el isótopo ligero (e.g. $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$).

R_{std} corresponde a la razón del isótopo pesado y el ligero en el estándar (Tabla 1).

Los incrementos en la abundancia del isótopo pesado con respecto del ligero producen cambios en el valor δ . Pequeñas variaciones en esta proporción producen cambios en la señal dependiendo el isótopo estable como se observa en la Figura 2.

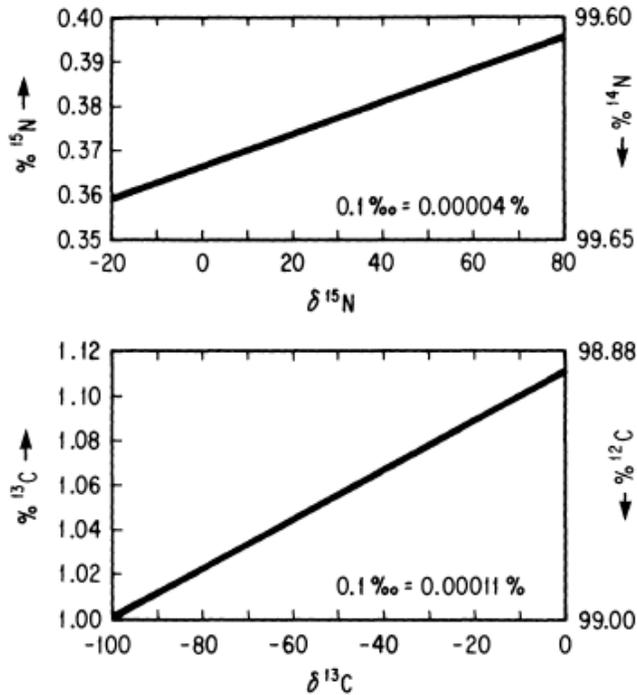


Figura 2. Relación que guardan los isótopos de N y C con respecto a su respectivo δ . La relación lineal se deriva de la solución de la ecuación 1 en la cual $^{15}\text{N}/^{14}\text{N}_{\text{Aire}} = 0.0036$ y $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}_{\text{PDB}} = 0.0112$.

2.3.1 Isótopos de nitrógeno

Los isótopos estables de ^{14}N y ^{15}N se encuentran de forma general en la tierra en una proporción fija que corresponde aproximadamente a 273 átomos de ^{14}N por cada átomo de ^{15}N , aunque la razón isotópica entre ^{15}N y ^{14}N varía de acuerdo a la fuente de N en los ambientes (Peterson y Fry, 1987). Aunque la magnitud absoluta de la variación natural de $^{15}\text{N}/^{14}\text{N}$ en un ambiente sea pequeña (Figura 2), las huellas isotópicas de los isótopos estables de N son usualmente muy distintas, permitiendo identificar y rastrear las fuentes de N dentro de un ecosistema.

Conforme el N es biológicamente transformado, ocurre el proceso de fraccionamiento del elemento. El fraccionamiento de los elementos puede explicarse como la coexistencia de isótopos en las reacciones químicas en las cuales debido a que los isótopos tienen diferentes tamaños y pesos atómicos estos reaccionan a diferentes razones. De forma general las reacciones que involucran la síntesis de biomoléculas discriminan los isótopos. Los niveles de ^{15}N en el material biológico se

encuentran típicamente entre -5‰ y +10‰. Los consumidores primarios muestran un enriquecimiento en ^{15}N relativo a las plantas que consumen y los predadores de estos un enriquecimiento mayor al de sus presas. En particular el fraccionamiento durante la asimilación de N por el fitoplancton se debe a la preferencia por ^{14}N relativo a ^{15}N (Wada y Hattori, 1976; York et al., 2007). La magnitud del fraccionamiento depende de las especies, la luz, la tasa de crecimiento y las especies de N (Needoba et al., 2003; York et al., 2007).

Los valores isotópicos de nitrógeno orgánico particulado (NOP) son independientes de las concentraciones de las especies nitrogenadas disueltas de N por lo que permiten discriminar las fuentes disueltas debido al factor de fraccionamiento (ϵ) el cual es mayor en el caso de NH_4^+ con respecto a NO_3^- (York et al., 2007). El NO_3^- del agua de mar en zonas de surgencia presenta de un $\delta^{15}\text{N}$ de 5 - 7‰ (Wada y Hattori, 1976) pero puede tener valores de 18‰ en zonas de desnitrificación. Durante la desnitrificación el ciclo microbiano reduce preferentemente el ^{14}N del NO_3^- enriqueciéndolo de ^{15}N el nitrato no utilizado durante el proceso. Esta variabilidad de procesos biogeoquímicos en un área definida, puede causar fluctuaciones del $\delta^{15}\text{N}$ del NOP en la magnitud del flujo materia orgánica y en la dinámica del ecosistema (Gervais y Riebesell, 2001). La alta sensibilidad del $\delta^{15}\text{N}$ a los procesos diagenéticos permite usar al $\delta^{15}\text{N}$ del seston como un indicador de la transición de la productividad nueva a la regenerada (Ostrom et al., 1997).

La huella isotópica del nitrógeno ha sido utilizada en diversos estudios como indicadores de la fuente de la materia orgánica en relación con el enriquecimiento de nutrientes. Un estudio realizado en Cape Cod, MA, por York et al. (2007) muestra variaciones en la asimilación fitoplanctónica de distintas especies químicas de N dependiendo su concentración, identificando así cambios en los valores de $\delta^{15}\text{N}$ debido a transformaciones biogeoquímicas en tiempo y en espacio. En las zonas del océano en las cuales domina este proceso la señal isotópica del NO_3^- típicamente se encuentra de 4 – 6 ‰ (Sigman et al., 2005). Las razones isotópicas de N están determinadas por la historia de los procesos que actúan en las fuentes de N así como la proveniencia de esta fuente (Gruber, 2004). Aunque la señal de isótopos estables de N en NO_3^- es un

parámetro frecuentemente utilizado para caracterizar ambientes de nitrificación y desnitrificación la metodología para su análisis es complicada a pesar de sus modificaciones (Sigman et al., 1997).

2.3.2 Isótopos de carbono

Los primeros estudios ecológicos en los que se analizaron isótopos estables de C en ambientes estuarinos resaltaron su potencial como trazador del flujo de carbono en las redes tróficas, lo anterior tiene fundamento en las diferentes rutas fotosintéticas de los productores primarios. Las plantas superiores utilizan el ciclo de Calvin (conocidas como C3; coníferas y árboles en general) fraccionando el carbono de forma diferente a las plantas con ruta fotosintética Hatch-Stack (conocidas como C4; gramíneas como el maíz o la caña de azúcar o angiospermas como los pastos marinos). Un tercer grupo de productores primarios combina ambas rutas en un complejo de reacciones denominado CAM (Crassulacean acid metabolism). Este grupo está conformado por vegetación costera (e.g. *Spartina alterniflora*) y agaváceas. Las diferentes rutas fotosintéticas tienen una razón de $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ particular, lo cual es utilizado para distinguir la contribución de los productores primarios y rastrear su señal en los tejidos de los animales que se alimentaron de estas fuentes orgánicas. El $\delta^{13}\text{C}$ en compuestos interesantes desde el punto de vista biológico tiene un intervalo que va de 0‰ a aproximadamente -35‰ relativo al estándar PDB (Peterson y Fry, 1987).

Aunque $\delta^{13}\text{C}$ ha sido ampliamente utilizada en determinar el origen de la materia orgánica en los sistemas su aplicación tiene una observación al ser utilizado en ambientes con un marcado gradiente estuarino:

En ambientes cársticos y/o con salinidades bajas el carbono inorgánico disuelto (CID) tiene una señal menor a la del océano. Este hecho origina fitoplancton con señales de hasta -28 ‰ lo cual lo hace indistinguible de la señal del material orgánico de plantas terrestres (Peterson, 1999; Oczkowski et al., 2010).

En ambientes con aportes de origen terrestre nulos o esporádicos, así como en zonas de clima árido a desértico la interpretación del $\delta^{13}\text{C}$ puede dificultarse ya que los

aportes de las fuentes podrían ser muy localizados espacialmente y su distribución estar gobernada por eventos temporales atípicos.

De forma general $\delta^{13}\text{C}$ sufre muy poca variación entre un nivel trófico y otro (generalmente $< 2 \text{ ‰}$) lo cual lo ha relegado en comparación con otros isótopos estables para la determinación del nivel trófico, además de presentar importantes variaciones de acuerdo el tejido estudiado y el estado de madurez de los organismos analizados. Por ejemplo MacNeil et al (2006) encontraron que en el caso de estudios con peces se pueden presentar variaciones de acuerdo a la cantidad de lípidos y al estado gonádico de las hembras.

Una alta desviación estándar del $\delta^{13}\text{C}$ puede resultar en una importante aplicación en casos en que el mismo tejido de organismos de una misma especie, sexo y talla es analizado. Una alta variabilidad podría interpretarse como múltiples fuentes de C para la especie. Desde el punto de vista de la ecología trófica esto podría indicar una baja especiación en la dieta y una alta movilidad (MacNeil et al., 2005) en cuyo caso los análisis de dieta son una herramienta importante que utilizada en conjunto con el análisis de isótopos estables conforma una herramienta robusta para explicar procesos evolutivos.

2.4 Contenido estomacal

El análisis de dieta o contenido estomacal es una herramienta clásica utilizada en estudios de ecología trófica. Estos estudios requieren de una detallada logística que incluye la conservación de los organismos a estudiar e identificación de elementos dietéticos identificados bajo el microscopio que en algunas ocasiones presentan un elevado grado de descomposición. Los estudios de la dieta son relevantes cuando el objetivo del estudio es conocer la dinámica trófica y la posición de una especie en la red trófica ya que el contenido estomacal puede indicar si el organismo estudiado es de hábitos carnívoros, omnívoros, o herbívoros y si la especie es especialista o generalista. Sin embargo el contenido estomacal provee información instantánea de la dieta de la especie capturada. Por ejemplo, en estudios de contenido estomacal en zona de manglar que incluyen la temporalidad ha sido posible discriminar la presencia

de distintos elementos en la dieta de bivalvos en relación con la marea (Alfaro, 2006; Alfaro et al., 2006; Alfaro, 2008). El análisis de contenido estomacal a mostrado en algunos casos que los depredadores pueden cambiar sus hábitos alimenticios de acuerdo a la disponibilidad de alimento (Hobson y Welch, 1992).

Algunas de las complicaciones que se presentan al utilizar esta técnica son la obtención de un número adecuado de organismos para representar de forma adecuada los hábitos alimenticios de una especie (Vander Zanden y Rasmussen, 2001), la prevalencia de elementos difíciles de identificar en los estómagos, ya sea por un alto grado de digestión o por la dificultad de identificar algunos grupos (i.e., Polychaeta); y la regurgitación del contenido estomacal al momento de coleccionar las especies asociadas a zonas profundas (MacNeil et al., 2005). A pesar de sus dificultades el análisis del contenido estomacal es ampliamente utilizado para determinar la posición trófica de las especies.

2.5 Isótopos estables y contenido estomacal en estudios ecológicos

En la actualidad el estudio de la dieta, o ecología trófica de una especie, se complementa con la determinación de isótopos estables de C y N. El contenido estomacal es válido para determinar la estructura trófica de cada organismo, mientras que un análisis de isótopos estables permite construir la trama trófica basada en los ciclos biogeoquímicos del ambiente estudiado.

De forma general el análisis de las razones isotópicas de C y N en el estudio de relaciones tróficas ofrece dos ventajas en relaciones a los estudios clásicos de análisis de estructura trófica:

- i. La información del nivel trófico obtenido de la abundancia de los isótopos estables está basada en la asimilación de los compuestos y no solo en la asimilación de cierto tipo de alimentos.
- ii. Las posiciones tróficas representan promedios en escala de tiempo larga, dependiendo a la tasa metabólica del tejido medido (Tieszen et al., 1983).

La utilización de los isótopos estables de C y N en estudios ecológicos se basan en el hecho de un enriquecimiento (aumento en el isótopo pesado) del depredador con respecto a su presa (Peterson y Fry, 1987). En el caso del N el enriquecimiento de ^{15}N con respecto a la dieta se debe principalmente a la excreción de ^{14}N en la urea. Estudios realizados con diversos organismos muestran que la orina esta empobrecida en ^{15}N con respecto a la dieta (valores bajos de $\delta^{15}\text{N}$) mientras que heces y tejido del depredador se encuentran enriquecidos en ^{15}N con respecto a la dieta (valores altos de $\delta^{15}\text{N}$) (Peterson et al., 1985; Peterson y Fry, 1987). El carbono al contrario del nitrógeno representa incrementos menos evidentes entre un depredador y su dieta (0-1 ‰). Estos cambios se deben fundamentalmente a la baja tasa de cambio entre los isótopos pesados y ligeros durante el metabolismo y la respiración (Peterson y Fry, 1987; Peterson, 1999). En estudios recientes los isótopos estables ha sido utilizada para determinar el momento de asentamiento de larvas (Herzka y Holt, 2000; Herzka et al., 2001) y patrones de migración de diversos grupos de especies (Graham et al., 2007; Ménard et al., 2007; Popp et al., 2007; Busquets, 2008; Aurióles-Gamboa et al., 2009), ya que además de integrar información de la dieta de los organismos, integran información isotópica del ambiente en el que habitan.

3 ÁREA DE ESTUDIO

La zona costera del Pacífico Nororiental es una región dinámica en la cual las diferencias en la temperatura superficial del mar en relación con la presencias de diferentes masas de agua, han creado cuatro áreas biogeográficamente separadas (Moser et al., 1987). En estos ambientes diferentes procesos biogeoquímicos y condiciones oceanográficas trabajan en conjunto para llevar a cabo la asimilación del carbono y su transferencia a lo largo de la red trófica (Lluch-Belda, 2000; Lluch-Belda et al., 2003; Lluch-Belda et al., 2005; Karl et al., 2008). En la región oceánica frontal de Bahía Magdalena, localizada en la costa Suroeste de Baja California Sur (Figura 3), la Corriente de California (CC, 8 – 20 °C) y la corriente Norecuatorial (CNE, 25 – 30 °C) convergen creando una zona de transición entre condiciones templadas y tropicales (Moser et al., 1987; Lluch-Belda et al., 2003).

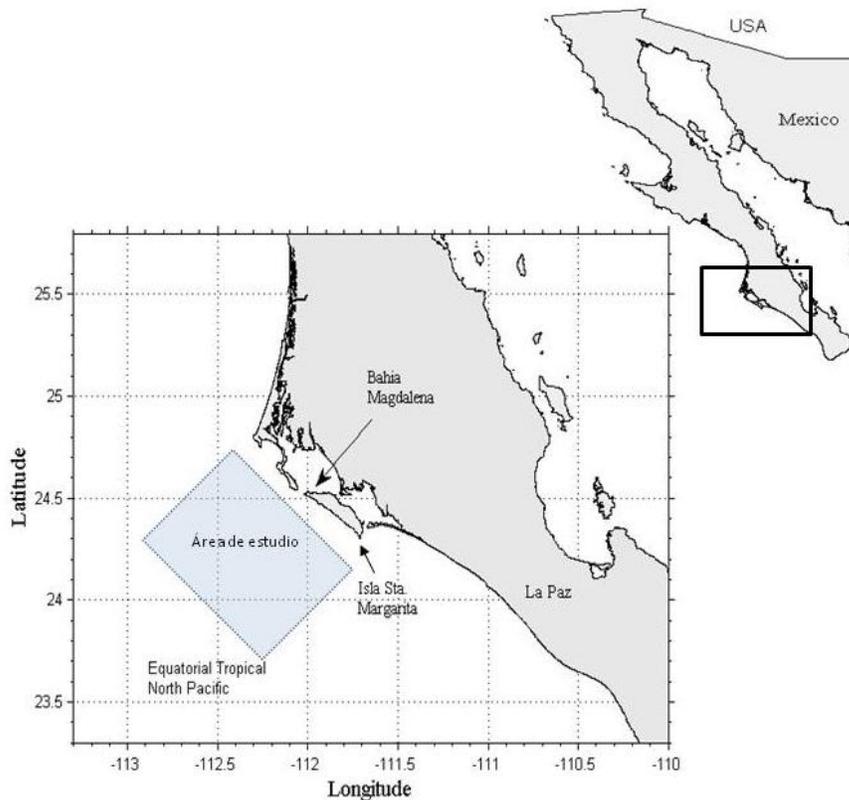


Figura 3. Región oceánica frente a Bahía Magdalena en la cual se presentan las mayores variaciones estacionales de la Corriente de California (CC) y la Corriente Norecuatorial (CNE).

La frontera entre la CC y la CNE presenta cambios latitudinales en escalas temporales que pueden ser decadales o de mayor escala (Durazo y Baumgartner, 2002). La CC transporta aguas de origen subártico enriquecidas de nitratos ($\text{NO}_3^- > 5 \mu\text{M}$) de baja salinidad (33 a 34) en dirección hacia el Sur, mientras que la CNE transporta aguas empobrecidas de nitratos ($\text{NO}_3^- < 1 \mu\text{M}$) de salinidad de 34.3 – 35 en dirección hacia el Norte (Hickey, 1998; Kienast et al., 2002).

En la primera mitad del año se presenta una fuerte influencia de la CC en el área de estudio, incluso dentro de Bahía Magdalena (Zaytsev et al., 2007) que gradualmente cambia hacia condiciones más templadas en el segundo semestre del año cuando la CC pierde fuerza y la CNE incrementa su influencia (Lluch-Belda et al., 2003). Adicionalmente y como resultado de un intenso periodo de surgencia durante primavera las concentraciones de NO_3^- son más altas que en el segundo semestre del año cuando los eventos de surgencia son menos frecuentes y de menor fuerza. La surgencia costera a lo largo de la Península está originada por un patrón de vientos que fluye de Norte a Sur como resultado del régimen de alta presión del Pacífico Norte con una velocidad de 2 a 4 Kt. Este régimen migra de su límite Sur (28°N) en Febrero a su límite Norte (38°N) durante Julio (Lyle et al., 2000) y reduce su velocidad a un intervalo entre 0.1 a 0.3 Kt. En escala de tiempo geológico, cambios en patrón y dirección de vientos han tenido un fuerte impacto en la estructura de la CC así como en los puntos en los cuales se presenta la mayor intensidad de las surgencias (Hickey, 1979; Hickey, 1998)

Hay una fuerte relación entre los eventos de surgencia, la temperatura superficial del mar (Zaytsev et al., 2003) y la productividad en el área, la cual decrece hasta en un orden de magnitud en el segundo semestre del año comparado con el primero (Lluch-Belda, 2000; Lluch-Belda et al., 2000; Lluch-Belda et al., 2003; Lluch-Belda et al., 2005; González-Rodríguez, 2008). A pesar de estos marcados cambios en la productividad causados por el cambio de las corrientes dominantes, la región oceánica frente a Bahía Magdalena (Figura 3) ha sido reportada como un centro de continua actividad biológica a lo largo del año (Lluch-Belda, 2000) debido a la regeneración de nutrientes y la producción secundaria transportada desde la zona costera (Karl et al., 2008).

En escala de tiempo decadal eventos como el fenómeno de El Niño y La Niña pueden causar efectos regionales en la CC de grandes consecuencias. Los efectos que se detectan en las costas de Baja California pueden propagarse hasta altas latitudes como el caso de El Niño de 1958 – 1959, en donde la temperatura superficial del mar y su salinidad tuvo características tropicales en las costas de San Francisco (Lyle et al., 2000).

4 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

A pesar de su potencial valor económico, los estudios en la parte Mexicana de la CC y la ZTTT han omitido estudios que permitan entender la estructura de la red trófica y su variación en espacio-tiempo. En el presente estudio se propone la utilización de una herramienta clásica de identificación de relaciones tróficas (contenido estomacal) junto con marcadores isotópicos ($\delta^{13}\text{C}$ y $\delta^{15}\text{N}$). Ambas herramientas pueden ser utilizadas en conjunto y separadamente para caracterizar las fuentes de C y N que sustentan la cadena trófica.

Los estudios de redes tróficas con la utilización de isótopos estables (e.g. Fry, 1988; Hobson y Welch, 1992) permiten identificar puntos vulnerables y probables efectos de fenómenos globales como “El Niño”. En la actualidad, asociado al calentamiento global, se ha registrado un incremento en la intensidad de las surgencias (Bakun, 1990), lo cual puede tener efectos ecológicos importantes que aun no se han evaluado, como cambios en la estructura trófica o dominio de especies oportunistas (Lavaniegos et al., 2002; Lluch-Belda et al., 2005). El presente trabajo utiliza especies residentes a lo largo del año en una región oceánica sujeta a escenarios contrastantes. Se seleccionaron especies de peces demersales debido a su baja movilidad en comparación con especies pelágicas, además de considerarse como un grupo que podría integrar los procesos biogeoquímicos en la columna de agua. Los peces demersales además, son un eslabón importante en la cadena trófica y algunas de sus especies como *Merluccius angustimanus* son de importancia comercial. El otro grupo seleccionado fueron los mamíferos marinos, en particular *Zalophus californianus* y *Tursiops truncatus*, reportados como residentes continuos en el área y que no tienen un patrón de migración como otros mamíferos que utilizan esta área como zona de alimentación en su paso hacia el Golfo de California como la ballena gris (*Eschrichtius robustus*) y la ballena azul (*Balaenoptera musculus*) (Reilly et al., 1983; Etnoyer et al., 2006; Busquets, 2008).

4.1 Flujo energético en condiciones de alta productividad

Existen una gran cantidad de evidencias que indican que durante el periodo de influencia de la Corriente de California (CC) el principal reservorio de carbono y nitrógeno estaría basado en los florecimientos fitoplanctónicos que sustentan en la región zonas de relevancia ecológica y pesquera. Las zonas de alta productividad biológica (basados en la producción nueva) de la costa occidental de la Península de Baja California favorecen una eficiente transferencia de materiales y energía generando los Centros de Actividad biológica (CAB) (Lluch-Belda et al., 2003). Las biomásas de langostilla (detritívoro) y de sardina son muy importantes en la zona. El flujo energético de la base al tope trófico en la ZTTT debe ser muy eficiente ya que sustenta al menos 4000 lobos marinos alimentándose continuamente en la zona. Para entender esta compleja estructura trófica debe considerarse la probable interacción del sistema lagunar de Bahía Magdalena y la zona adyacente de surgencias. Los isotopos estables de C y N podrían ser de gran utilidad en este caso ya que los valores de $\delta^{15}\text{N}$ de material orgánico particulado típicos de fitoplancton en zonas de surgencias son 6‰ y de -21‰ para el $\delta^{13}\text{C}$ (Rau et al., 1998) mientras que los valores de $\delta^{15}\text{N}$ del detritus de manglar son 2‰ y de -27‰ para el $\delta^{13}\text{C}$ (S. Aguíñiga, datos sin publicar). Las principales biomásas del ZTTT, pelágicos menores (sardinias) y langostilla debieran reflejar la composición isotópica del reservorio orgánico que sustentan dichas biomásas.

Para evaluar la importancia relativa de estas fuentes hacia sus destinos, es necesario caracterizar el reservorio de carbono y nitrógeno bajo condiciones de producción nueva evaluando la composición isotópica de los nutrientes nitrogenados (isótopos en nitratos, $\delta^{15}\text{N-NO}_3^-$), su fraccionamiento isotópico al material orgánico particulado y zooplancton, peces herbívoros, peces carnívoros y varios destinos de nivel trófico tope como aves, tortugas, lobos marinos y delfines. Se esperaría que en el esquema de una trama trófica basada en nitratos o producción nueva (Dugdale et al., 1990), los valores isotópicos del reservorio orgánico se transmitan a lo largo de la trama trófica (Diagrama 1).

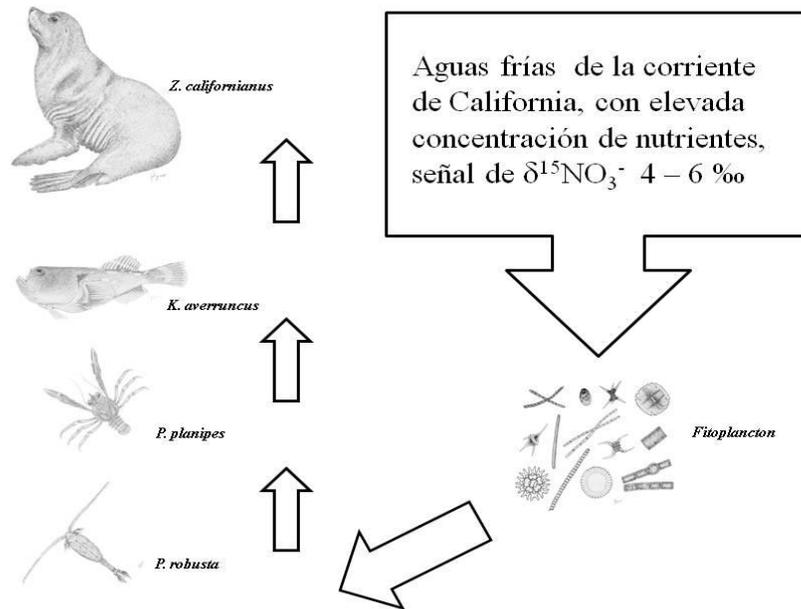


Diagrama 1. Expone las rutas del flujo de energía en la zona de estudio durante el escenario oceanográfico de surgencia, en el cual aguas con elevada concentración de nutrientes favorecen una elevada productividad primaria.

4.2 Flujo energético en condiciones de baja productividad

La intrusión de aguas tropicales, más calientes y pobres en nutrientes, plantean un escenario complejo al intentar explicar cómo es que la zona sustenta consumidores tope durante la época de relajación de surgencias. Bajo este escenario se piensa que la cadena trófica puede estar sustentada por una fuente de materia orgánica distinta al fitoplancton, ya que las aguas tropicales, dominantes en esta época, son oligotróficas (Chavez y Messié, 2009) y difícilmente podrían mantener florecimientos de fitoplancton. Una posible explicación a esto es que durante esta época la cadena trófica tendría una entrada alternativa de la materia orgánica ayudada por el reciclamiento de la materia (Diagrama 2).

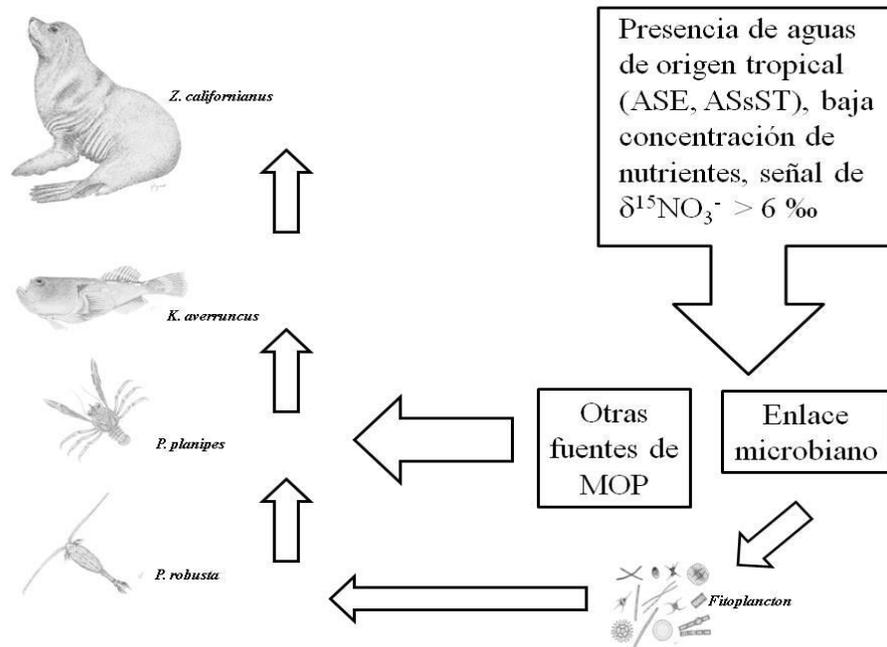


Diagrama 2. Expone el flujo energético en la zona de estudio en el escenario oceanográfico de intrusión de aguas tropicales empobrecidas en nutrientes, lo cual no favorece una alta productividad primaria, teniendo otras fuentes de materia orgánica o el enlace microbiano mayor peso en la transferencia de energía en la región estudiada.

Este escenario concuerda con los trabajos realizados por Dungdale (1989), Dungdale y Wilkerson (1989) Dungdale et al (1990) en Point Conception California en los cuales el florecimiento de fitoplancton originado en la surgencia desaparece después de haber consumido los nutrientes transportados a la superficie. En este caso existe un secuestro de nutrientes en la materia orgánica particulada, originando una ruta alternativa de energía basada en el enlace bacteriano (Azam et al., 1982).

La langostilla es un crustáceo decápodo típico de la ZTTT que alcanza su máxima biomasa frente al sistema lagunar de Bahía Magdalena típicamente durante la temporada de Enero a Mayo (Aurioles-Gamboa, 1995). La distribución de *P. planipes* se encuentra fuertemente relacionada al complejo lagunar de Bahía Magdalena, en años normales se encuentra entre los 20 y 30°N (Aurioles-Gamboa, 1995). Dado que su óptimo fisiológico está por debajo de los 16°C en años anormales (ENSO) la langostilla es objeto de una fuerte presión ambiental, larvas y pelágicos adultos son desplazados pasivamente siendo reportada hasta los 36°N (Glynn, 1961; Boyd, 1967;

Longhurst, 1968) Este hecho tiene profundas implicaciones ecológicas ya que éste organismo pudiera jugar un rol comparable al del *krill* de zonas árticas, que transfieren grandes cantidades de carbono y acortan la cadena trófica entre los productores primarios y el tope de la cadena trófica.

La langostilla en la ZTTT adquiere vital importancia ya que este organismo es probablemente el principal consumidor de fitoplancton en la zona durante su fase pelágica (Boyd, 1967; Aurióles-Gamboa y Balart, 1995; Pérez-Flores y Aurióles-Gamboa, 1995; Aurióles-Gamboa y Pérez-Flores, 1997) Debido a su abundancia (300-500 mil toneladas métricas, Aurióles-Gamboa et al., 1994) y a sus hábitos alimentarios (60% materia orgánica particulada), la caracterización de $\delta^{13}\text{C}$ y $\delta^{15}\text{N}$ permitirá buscar la señal geoquímica de este decápodo en la trama trófica, para definir si es un reservorio de C y N clave en el sustento de la trama trófica de la ZTTT.

Existen beneficios inherentes de este estudio que contribuirá con conocimientos relevantes al estado del arte de la investigación de esta zona. La gran abundancia de mamíferos marinos en la costa occidental de Baja California permite suponer una gran disponibilidad de alimento al compararlo con la costa oriental (Aurióles-Gamboa, 1995). En particular, la región costera de la ZTTT ha sido objeto de múltiples estudios, ya que es considerada como uno de las últimas reservas de recursos marinos escasamente explotadas en el mundo (Casas Valdez y Ponce Díaz, 1996). Por lo mismo este sitio corre el peligro de ser sobreexplotado por la pesca industrial.

El presente trabajo utiliza especies residentes a lo largo del año en una región oceánica sujeta a escenarios oceanográficos contrastantes. Se seleccionaron especies de peces demersales debido a su baja movilidad en comparación con especies pelágicas, además de considerarse como un grupo que podría integrar los procesos biogeoquímicos en la columna de agua. Los peces demersales además, son un eslabón importante en la cadena trófica y algunas de sus especies como los lenguados son de importancia comercial (Balart, 1996). El otro grupo seleccionado fueron los mamíferos marinos, en particular *Zalophus californianus* y *Tursiops truncatus*, reportados como residentes continuos en el área y que no tienen un patrón de

migración como otros mamíferos que utilizan esta área como zona de alimentación en su paso hacia el Golfo de California como la ballena gris (*Eschrichtius robustus*) y la ballena azul (*Balaenoptera musculus*) (Reilly et al., 1983; Etnoyer et al., 2006; Busquets, 2008).

5 HIPÓTESIS

La variabilidad oceanográfica de la zona oceánica frente a Bahía Magdalena genera cambios en la magnitud y el origen de la productividad en la ZTTT, lo cual puede ser trazado en el contenido estomacal y la señal isotópica de peces demersales y mamíferos marinos residentes en el área en escala intra-anual e inter-anual.

6 OBJETIVOS

El objetivo fundamental de este estudio es determinar el efecto de la variación oceanográfica en peces demersales y depredadores tope utilizando el contenido estomacal y la señal isotópica de C y N como herramientas de evaluación.

Los objetivos particulares son:

- Descripción oceanográfica:
- Análisis de masas de agua con datos de CTD
- Análisis de la temperatura superficial del mar con datos de satélite (NASA Aqua Modis)
- Análisis de la productividad primaria con datos de satélite (PAR) y el modelo de Falkowski
- Descripción de la ecología trófica de las especies demersales colectadas en ambas temporadas.
- Determinar la contribución relativa de cada elemento en la dieta por medio del índice relativo de importancia porcentual (%IRI)
- Cálculo de nivel trófico utilizando la ecuación propuesta por Pauly et al. (2000a).
- Análisis de isótopos estables de C y N durante ambas temporadas
- Análisis de musculo de peces demersales y mamíferos marinos
- Cálculo de nivel trófico utilizando la ecuación propuesta por Hobson et al. (2002)
- Análisis isotópico de sedimento superficial
- Análisis de material orgánico particulado
- Análisis de $\delta^{15}\text{NO}_3^-$

7 METODOLOGÍA

A bordo del BIP XII (CIBNOR) se llevaron a cabo cuatro campañas de muestreo durante los meses de Marzo y Noviembre de los años 2006 y 2007. Se distribuyeron quince estaciones de forma perpendicular a la costa sobre tres transectos en la parte norte, central y sur en la plataforma oceánica de Bahía Magdalena (Figura 4). En cada estación se llevaron a cabo arrastres de fondo utilizando una red de pesca, lances de CTD, colecta de agua, sedimento superficial y muestreo de fito- y zooplancton.

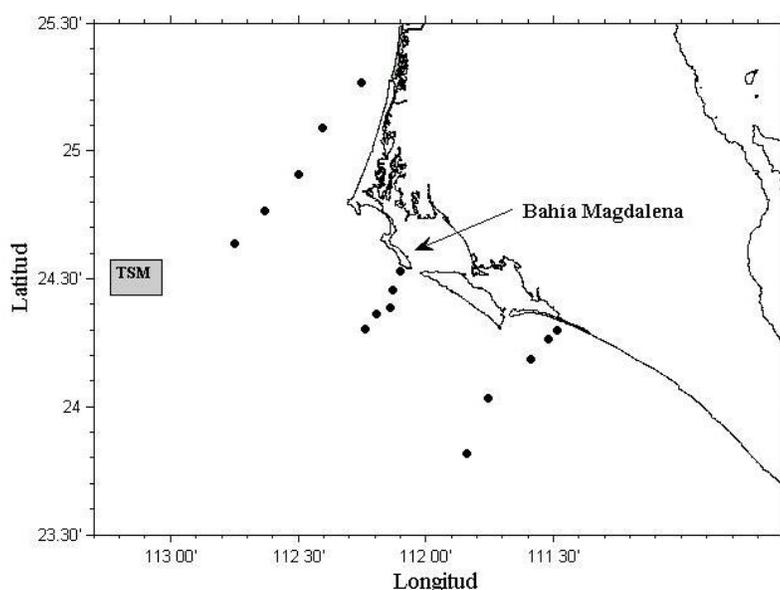


Figura 4. Área de estudio y red de estaciones de muestreo. En el recuadro (SST) se señala el punto del cual se extrajeron datos para análisis de temperatura superficial del mar y productividad de 1998-2008.

7.1 Colecta de muestras

7.1.1 Peces demersales

Los organismos asociados al fondo fueron colectados utilizando una red de arrastre por popa tipo camaronera de 20 m de boca y luz de malla de 75 mm en las alas, 60 mm en el cuerpo y 50 mm en el bolso, con portones metálicos a bordo de la embarcación de investigación pesquera BIP XII. La red fue lanzada a profundidades

que variaron de 50 a 400 m dependiendo la batimetría del área de estudio. La velocidad de arrastre fue de aproximadamente 2.5 nudos durante 20 minutos.

Una vez recuperada la red los organismos colectados fueron separados, etiquetados y pesados para después ser congelados hasta su identificación y disección en el Laboratorio de Necton y Ecología de Arrecifes del Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste (CIBNOR).

7.1.2 Fitoplancton y zooplancton

Durante los cruceros de Marzo y Noviembre de 2007 se realizaron arrastres con red Bongo de 200 y 500 μm para la colecta de fitoplancton y zooplancton respectivamente. Dado que el objetivo del estudio solo es conocer la señal isotópica de la comunidad fitoplanctónica y zooplanctónica no se tomaron en cuenta los elementos para realizar los cálculos de la biomasa (ángulo de la red, velocidad de crucero, tiempo de recorrido apertura de la boca). La red se arrastró por aproximadamente 5 minutos a una velocidad aproximada a 2 nudos suficiente para mantener la red visible y sumergida.

7.1.3 Mamíferos marinos varados en la zona de estudio

Se tomaron muestras de tejido muscular de lobo marino (*Zalophus californianus*) y el delfín común (*Tursiops truncatus*) varados en la Isla Margarita teniendo en consideración que los organismos no presentaran señales de descomposición o desnutrición. El trabajo de Mercuri (2007) muestra una relación lineal entre el número de organismos censados en la colonia reproductora de lobos marinos aledaños a la zona del presente estudio y el número de varamientos en la Isla Margarita por lo que se infiere que los lobos marinos son residentes de la colonia cercana al área de estudio y por lo tanto representativos de las condiciones oceanográficas persistentes en el periodo de varamiento.

7.1.4 Sedimentos superficiales

El material sedimentario fue colectado con una draga Smith - McIntyre de 0.5 m^2 de cobertura. Una vez abordado se separaron cuidadosamente los primeros 2 cm de

sedimento para después ser etiquetado y almacenado en una bolsa que se mantuvo en congelación hasta su tratamiento para la determinación de isótopos estables de C y N.

7.1.5 Agua para análisis de $\delta^{15}\text{NO}_3^-$

Muestras de agua superficial fueron colectadas a diferentes profundidades mediante botellas Niskin y filtradas por filtros GF/F (0.45 μm) previamente calcinados a 450 °C. El agua filtrada fue colectada en botellas (Nalgene) de un litro previamente lavadas con jabón (Micro), y enjuagadas con HCL (1 N) y agua destilada.

7.2 Determinación de contenido estomacal

Una vez en el laboratorio se procedió a la identificación taxonómica de los peces capturados utilizando literatura taxonómica pertinente (Miller y Lea, 1972; Thomson et al., 1979; Allen y Robertson, 1994; Fischer et al., 1995b; Fischer et al., 1995a). Se extrajo el estómago y fue fijado en formaldehído al 10% para su posterior análisis cuantitativo.

El contenido estomacal fue separado y observado a través de un microscopio estereoscopio. La identificación de los diferentes elementos de la dieta se llevó a cabo utilizando claves taxonómicas (Miller y Lea, 1972; Thomson et al., 1979; Allen y Robertson, 1994; Fischer et al., 1995b; Fischer et al., 1995a) cuando el estado de digestión lo permitió. Para los peces, la determinación taxonómica se realizó por medio del esqueleto axial. Para vértebras se utilizaron trabajos de Clothier (1951), Miller y Jorgensen (1973) y Monod (1968). Para aquellos peces que presentaron un estado de digestión mínimo se utilizaron las claves y/o descripciones de, además de literatura especializada dependiendo del caso. La identificación de crustáceos se llevó a cabo por el reconocimiento de estructuras duras utilizando las claves taxonómicas de Garth y Stephenson (1966) y Brusca (1980).

7.3 Preparación de muestras para análisis de isótopos estables

7.3.1 Peces demersales

Una vez que las especies fueron identificados se determinó su morfometría y se extrajo una porción del músculo dorsal de aproximadamente 3 cm. El tejido fue colocado en viales Eppendorf de 5ml y cubiertos con Parafilm perforado para proceder a su liofilización exhaustiva. Una vez que el tejido es llevado a sequedad se macera en un mortero de agatha hasta conseguir un polvo fino. La muestra macerada (2 mg) es colocada en cápsulas de estaño y empacadas. Para asegurar el registro del peso adecuado, una vez empacada la muestra se pesa una vez más, lo cual es sumamente importante para determinar el contenido de C y N de la muestra a analizar. Las muestras encapsuladas fueron colocadas en placas de uso biomédico para facilitar su registro e identificación. El análisis de $\delta^{13}\text{C}$ y $\delta^{15}\text{N}$ se llevó a cabo en la Universidad de California Davis.

7.3.1.1 Extracción de lípidos

La determinación de $\delta^{13}\text{C}$ en estudios ecológicos tiene gran importancia al ser un trazador del origen de la materia orgánica en regiones en las cuales los productores primarios son altamente contrastantes (fitoplancton ~ -20 ‰ y plantas terrestres -13 ‰, (Peterson y Fry, 1987). Dado que el enriquecimiento isotópico es muy bajo entre niveles tróficos (~ 1 ‰) es importante que los resultados del análisis de material biológico no se vean influenciados por cambios en la composición bioquímica del tejido, por ejemplo el contenido de lípidos en las muestras de arenque las muestras sin extracción de lípidos se encontraron hasta 4 ‰ más empobrecidas en $\delta^{13}\text{C}$ con respecto a las muestras extraídas con diferentes métodos (Logan et al., 2008; Logan y Lutcavage, 2008). El método de extracción de Cloroformo-Metanol (2:1) ha probado tener menor influencia en los valores de $\delta^{15}\text{N}$ en tejido de peces marinos, además de una exhaustiva extracción de lípidos (Logan y Lutcavage, 2008), sin embargo su aplicación utilizando un sistema de microondas tiene menor difusión en documentos publicados aunque ha sido eficaz en extracciones en músculo e hígado de bacalao (*Gadus morhua*) (Weichbrodt et al., 2000) y grasa de foca (Vetter et al., 1998). Alternativamente es posible realizar correcciones matemáticas de los datos como la

propuesta por Post et al (2007). Dada la convención de la corrección matemática se contrastaron muestras extraídas químicamente y corregidas matemáticamente.

Aproximadamente 10 mg de tejido muscular de la parte dorsal de las especies *H. stomata*, *C. xanthostigma*, *P. albirostris*, *M. angustimanus*, *D. labarum*, *P. simillimus* y *L. stigmatistium*, fueron llevadas a sequedad en un liofilizador. El tejido muscular fue retirado del liofilizador hasta que se encontrara sin ningún rastro de humedad, este procedimiento es conveniente debido al alto contenido de humedad y para acelerar y hacer más eficaz la extracción (Weichbrodt et al., 2000). Dado que el único objetivo fue extraer los lípidos de la matriz orgánica y no cuantificarlos, el peso seco no fue determinado. El material seco fue colocado en vasos para extracción con 20 ml de una solución 2:1 de Cloroformo-Metanol (grado HPLC) previamente preparada siguiendo el protocolo del manual del horno de microondas MARS-X del laboratorio de Química Marina del CICIMAR. La extracción de lípidos en tejido de peces se realizó elevando la potencia del horno de 20 kW a 100 kW en una rampa de calentamiento de 10 minutos, después de lo cual se mantuvo la potencia a 100 kW hasta alcanzar una temperatura de 100 °C que se mantuvo por 10 minutos, transcurrido este tiempo el sistema tiene un periodo de enfriamiento de 10 minutos en el cual la temperatura de los solventes baja hasta ~ 60 °C. Los solventes con el material lipídico son desechados y el tejido de peces llevado a sequedad en un horno de bombillas incandescentes de 100 watts hasta su completa sequedad.

Con el fin de corroborar la extracción de lípidos, los datos fueron corregidos aplicando la ecuación propuesta por Post et al. (2007).

$$\delta^{13}\text{C}_{\text{Normalizado}} = \delta^{13}\text{C}_{\text{Medido}} - 3.32 + 0.99 * \text{C} : \text{N} \quad \text{Ecuación 3}$$

En donde:

C : N es la relación de carbono y nitrógeno de la muestra.

7.3.2 Fitoplancton y zooplancton

El material colectado fue preservado en refrigeración y después centrifugado en el laboratorio. El material decantado se colocó en viales de plástico y liofilizado. Una

vez liofilizado 200 mg del material fue encapsulado y enviado a la Universidad de Davis para su análisis.

7.3.3 Colecta y preparación de material orgánico particulado (MOP) para análisis de isótopos estables.

Durante Noviembre de 2007 se colectó agua con una botella Niskin en las estaciones a profundidades de 50, 100 y 200 metros. El agua colectada fue filtrada en filtros GF/F previamente calcinados a 450°C para eliminar cualquier resto de materia orgánica. Los filtros fueron guardados en cajas plásticas de Petri y mantenidas en congelación hasta su análisis isotópico y elemental. Una vez en el laboratorio los filtros fueron colocados en un desecador en un ambiente de vapores de HCl (1 N) para remover el carbonato de la MOP. Se mantuvieron durante 24 hrs para después ser llevados a sequedad en una estufa de temperatura controlada a 50 °C por 12 h. El material contenido en los filtros fue raspado cuidadosamente y colectado y encapsulado en capsulas de estaño (Costech) para después ser analizados en la Universidad de California Davis.

7.3.4 Sedimentos superficiales

Una vez en el laboratorio de Química Marina del CICIMAR se homogenizó el sedimento descongelado para tomar una alícuota de aproximadamente 2 gr. El material carbonatado observable (conchas, restos y caracoles) fue extraído con pinzas, y el sedimento fue traspasado a contenedores plásticos en los que se adicionó HCl (1 N) lentamente hasta que todo el material quedara ligeramente inmerso en ácido. Este procedimiento se realizó bajo una campana de extracción para ácidos de flujo continuo y se repitió hasta que cesara la efervescencia del material carbonatado, para después ser llevado a sequedad en una estufa de temperatura controlada por aproximadamente 24 hrs o hasta que el sedimento se encontrara totalmente seco. El sedimento seco fue homogenizado en un mortero de ágata con pistilo. Se pesaron 5 mg de este material y se encapsuló en cápsulas de plata (Costech) para su análisis en la Universidad de California Davis.

7.3.5 Agua para análisis de $\delta^{15}\text{NO}_3^-$

El análisis de $\delta^{15}\text{NO}_3^-$ se realizó siguiendo la adaptación a la técnica de difusión de amonio propuesta por Sigman y colaboradores (Sigman et al., 1997) en la Facultad de Ciencias del Mar y Limnología unidad Mazatlán. Esta técnica, aunque ofrece diversas ventajas en cuanto a la concentración mínima de NO_3^- en el agua (2 μM), es metodológicamente complicada y requiere varios días de incubación de la muestra hasta la obtención del $\delta^{15}\text{NO}_3^-$. En este método el nitrato y el nitrito son convertidos en amonía (NH_3) en condiciones básicas ($\text{pH} > 7$) mediante la utilización de una amalgama compuesta de aluminio, cobre y zinc (conocida como “Devarda’s alloy”). El amonía se difunde de la muestra de agua y se inmoviliza en forma de amonio (NH_4^+) en discos de fibra de vidrio acidificados protegidos en forma de paquete envueltos en teflón poroso. El amonio se convierte a gas en un analizador elemental y el N_2 resultante es analizado en un espectrómetro de masas de razones isotópicas.

7.3.6 Mamíferos marinos varados en la zona de estudio

El tejido muscular de las muestras fue separado de la grasa con un bisturí para después continuar con el protocolo de liofilización descrito para las muestras de peces demersales.

7.4 Imágenes de satélite (oceanografía satelital)

7.4.1 Productividad primaria neta (PPN)

La productividad primaria en la zona oceánica frente a Bahía Magdalena presenta fluctuaciones estacionales que modifican el flujo de energía y la transferencia de carbono en la cadena trófica. El trabajo de González–Rodríguez (2008) describe la asimilación de nutrientes y la productividad primaria neta en una zona adyacente a Bahía Magdalena. El modelo utilizado para la elaboración de las gráficas de productividad primaria fue descrito por Behrenfeld y Falkowski (1997):

$$\text{PPN} = f(\text{PAR}) * \text{Cla} * P_{b_{opt}} * D_{irr} * Z_{eu} \quad \text{Ecuación 4}$$

Una descripción detallada de cada uno de estos elementos puede ser consultada González–Rodríguez (2008). Para la elaboración de estos gráficos se siguió la modificación propuesta para el área utilizando las rutinas y algoritmos de González – Rodríguez (2008). Los datos para alimentar el este modelo fueron descargados de la página <http://modis.gsfc.nasa.gov/>.

La productividad primaria neta en este estudio servirá como evidencia de la variación oceanográfica, la cual se espera sea registrada por distintos componentes de la cadena trófica en la zona oceánica frontal de Bahía Magdalena. En el primer semestre del año se espera que la productividad primaria en el área de estudio refleje la producción nueva de nutrientes en la columna de agua, propiciada por la surgencia de agua enriquecida de nutrientes con origen en la Corriente de California. Los valores isotópicos del material particulado colectado en esta temporada se espera sean menores a los registrado es el segundo semestre del año, cuando se espera que la productividad en el área esté dirigida por la regeneración de nutrientes.

7.4.2 Temperatura superficial del mar (TSM)

Se descargaron datos de la página del proyecto MODIS (<http://modis.gsfc.nasa.gov>) con los cuales se construyeron imágenes de TSM usando Matlab. Las rutinas para construir las imágenes fueron trabajadas en el Centro de investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada (CICESE Unidad La Paz).

7.5 Índices tróficos

7.5.1 Cálculo del índice relativo de importancia (IRI)

El índice relativo de importancia (IRI) es un indicador directo de la importancia de los elementos de la dieta que requiere de elementos cuantitativos para su cálculo. Fue propuesto por Pinkas et al. (1971) como una herramienta para integrar la información de diferentes aproximaciones y que unificando los estudios de dinámica trófica. En el presente trabajo se usó la modificación de Cortéz (1997), quien propuso utilizar el porcentaje del índice relativo de importancia de cada uno de los

elementos de la dieta con el fin de poder comparar el rango de importancia de las categorías entre especies, tallas y localidades.

Para la cuantificación del alimento consumido por los peces, se utilizaron los siguientes métodos tradicionales de acuerdo con Hyslop (1980) y Pinkas et al. (1971).

Porcentaje numérico (%N)

Corresponde a cada componente alimentario de los diferentes estómagos, expresados como un porcentaje de la sumatoria total de todos los estómagos (Hyslop, 1980).

$$\%N = \frac{(\sum C_{ident}) * 100}{\sum_{i=1}^n C} \quad \text{Ecuación 5}$$

Dónde:

C_{ident} = Componente alimenticio identificado por categoría (mínimo taxón posible).
C = Componentes alimenticios

Con este método se obtuvo información de la importancia numérica de cada tipo de alimento consumido.

Porcentaje gravimétrico (%P)

Cada componente alimenticio de los diferentes estómagos se expresó como un porcentaje de la suma total de todos los componentes alimenticios, para todos los estómagos (Hyslop, 1980).

$$\%P = \left(\frac{Peso(i) * 100}{\sum_{i=1}^n Peso} \right) \quad \text{Ecuación 6}$$

Dónde:

Peso (i) = Peso de cada componente alimentario.

$\sum_{i=1}^n Peso$ = Sumatoria del peso de todos los componentes alimentarios.

Con este método se registra el número de estómagos en los cuales apareció un determinado tipo de presa.

Porcentaje frecuencia de aparición (%FA)

Los resultados se expresaron como porcentaje de una especie con respecto al número total de estómagos con alimento (Hyslop, 1980).

$$\%FA = \frac{(\sum_{i=1}^n EC_{ident}) * 100}{\sum_{i=1}^n EC}$$

Ecuación 7

Dónde:

EC_{ident} = estómagos que tienen al mismo componente.

EC = estómagos con alimento.

Posteriormente, se procedió al cálculo del Índice de Importancia Relativa propuesto por Pinkas et al. (1971), el cual es usado para dimensionar la importancia de cada componente alimenticio. Este índice incorpora los porcentajes de los tres métodos anteriores. La fórmula para calcular el Índice de Importancia Relativa (IIR) es la siguiente:

$$IRI = (\%N + \%P) * \%FA$$

Ecuación 8

Dónde:

N= Porcentaje numérico.

P= Porcentaje gravimétrico.

F= Porcentaje frecuencia de aparición.

Este índice es una herramienta muy utilizada en estudios de alimentación ya que tiene la capacidad de mostrar los componentes de mayor importancia dentro del espectro trófico (Hyslop, 1980; Cortés, 1997)

7.5.2 Índice de Levin

Este índice es utilizado en estudios de ecología trófica para determinar si los organismos tienen hábitos alimentarios de tipo generalistas o especialistas lo que comúnmente se conoce como la amplitud de nicho trófico (Krebs, 1994). Así el índice de Levin permite conocer la amplitud del espectro trófico de una especie basada en el número total de recursos o elementos detectados en los estómagos.

$$B = \frac{Y^2}{\sum N_j^2}$$

Ecuación 9

Dónde:

B = Amplitud de nicho de Levin

Y = número de individuos muestreados

N= proporción de individuos encontrados, fracción del ítem en el total de la dieta J

La estandarización del índice de amplitud de espectro trófico permite obtener conclusiones acerca de la estrategia trófica al comparar los resultados en periodos y ambientes contrastantes ya que caracteriza la dieta de 0 a 1 siendo el valores mayores a 0.6 caracterizados como especies generalistas, mientras que valores menores de 0.6 otorga la categoría de especies especialistas o selectivos en términos de la dieta. Una de las debilidades más fuertes de esta aproximación es el supuesto de la abundancia uniforme de los elementos de la dieta en el ambiente (Krebs, 1994).

7.5.3 Cálculo de nivel trófico

Dos aproximaciones serán consideradas para el cálculo del nivel trófico. La primera es el contenido estomacal en la cual se utilizara la rutina disponible se de forma gratuita y propuesta por Pauly et al. (2000b). En esta rutina el cálculo del nivel trófico de un grupo dado de peces (individuos, población o especies) está estimado por la media del nivel trófico de los elementos de la dieta más la unidad. Expresado de formalmente como:

$$NT = 1 + \sum_{j=1}^G NT_j$$

Ecuación 10

De acuerdo al manual de Trophlab, la información con la cual se alimenta la rutina puede ser peso, volumen o energía, todas ellas características cuantitativas de la dieta.

La segunda aproximación para el cálculo del nivel trófico corresponde a la aproximación por isótopos estables de N para lo cual se utilizara la ecuación propuesta por Hobson et al. (2002).

$$NT = 2 + (\delta^{15}N_{\text{Cons.}} - \delta^{15}N_{\text{BC}})/FE$$

Ecuación 11

Dónde:

$\delta^{15}N_{\text{Cons}}$ = la señal isotópica del consumidor

$\delta^{15}N_{\text{BC}}$ = la señal isotópica de la base de la cadena trófica

FE = el factor de enriquecimiento promedio.

El índice de Levins (Levins, 1968) y cálculo de nivel trófico con la rutina TrophLab (implementada por Pauly et al. (2000b) serán utilizados para determinar si los cambios en el $\delta^{15}N$ de tejido de musculo de peces demersales se deben a un cambio en la estrategia alimentaria o a variaciones en la señal isotópica del material particulado.

8 RESULTADOS

8.1 Descripción oceanográfica

8.1.1 Temperatura superficial del mar (TSM) y productividad

Con el fin de determinar las fluctuaciones de la TSM se realizó un análisis retrospectivo de 10 años con datos obtenidos de satélite (Figura 5) para la zona oceánica frente al Complejo Lagunar Bahía Magdalena Almejas (Figura 4). Al igual que en estudios previos (Lluch-Belda et al., 2000; Lluch-Belda et al., 2003) se observó un refrescamiento de la temperatura durante los meses de Enero a Marzo y un calentamiento posterior de Verano a Otoño (Figura 5).

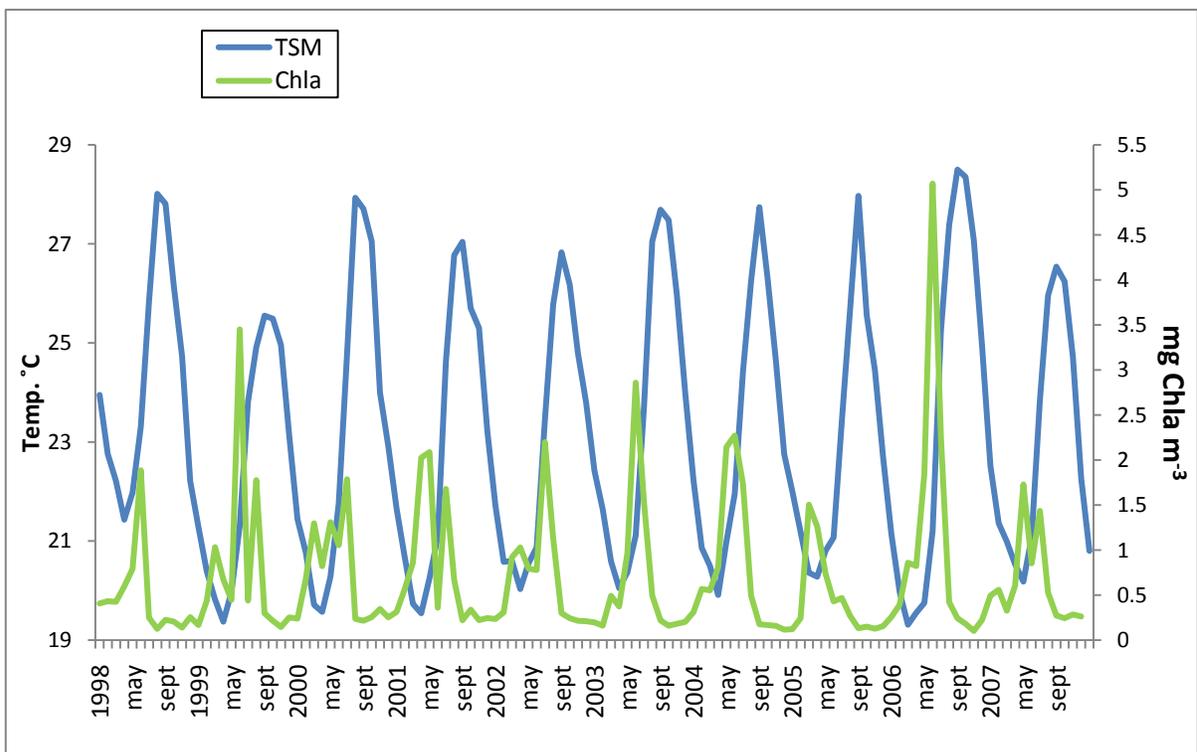


Figura 5. Variabilidad de la temperatura superficial del mar y la concentración de clorofila en la zona de estudio.

Se calcularon las anomalías de temperatura y concentración de clorofila a en la región (producción primaria) con promedios de estas dos variables obtenidos en Marzo y Noviembre desde el año de 1998 hasta el 2007 (Figura 6). La anomalía de

temperatura fue positiva durante Marzo de 2006 (0.9 °C) y negativas para los meses de Noviembre de 2006 (-2.5°) y Marzo de 2007 (-0.8°C, Figura 6).

Las anomalías positivas representan temperaturas más frías del mes de colecta con relación a la media de 10 años calculada, mientras que anomalías negativas representan mayor temperatura del mes de colecta en relación a la media de 10 años calculada.

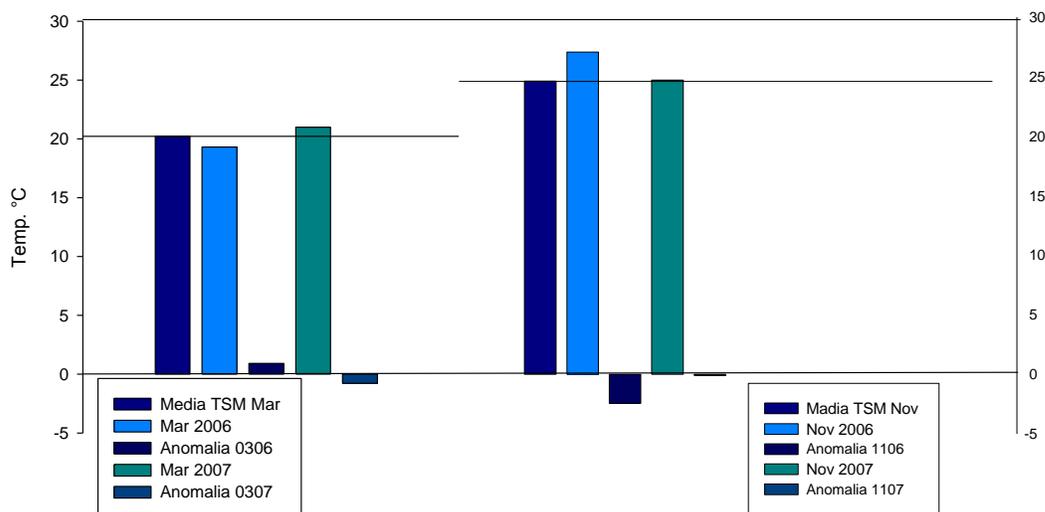


Figura 6. Anomalías de temperatura calculadas con datos de satélite de 1997 a 2008 para la zona oceánica frente al Complejo Lagunar Bahía Magdalena-Almejas.

La anomalía de producción primaria fue despreciable (~ 0) en Marzo de 2006 (Figura 7) lo cual indica que la producción durante este periodo de muestreo fue muy similar al promedio de diez años calculado. Se registraron anomalías positivas durante Marzo de 2007 y Noviembre de 2006 (0.52 y 0.1 mg Chla m⁻³ respectivamente, Figura 7). Anomalías positivas en la producción primaria indican que el promedio calculado de 1997 a 2007 (0.85 y 0.19 mg Chla m⁻³ para Marzo y Noviembre respectivamente) es mayor al registrado en la temporada de muestreo. Durante Noviembre de 2007 se registró una ligera anomalía negativa en esta variable (-0.1 mg Chla m⁻³), lo cual indica una mayor producción primaria en el momento del muestreo en relación con la media calculada de diez años (Figura 7).

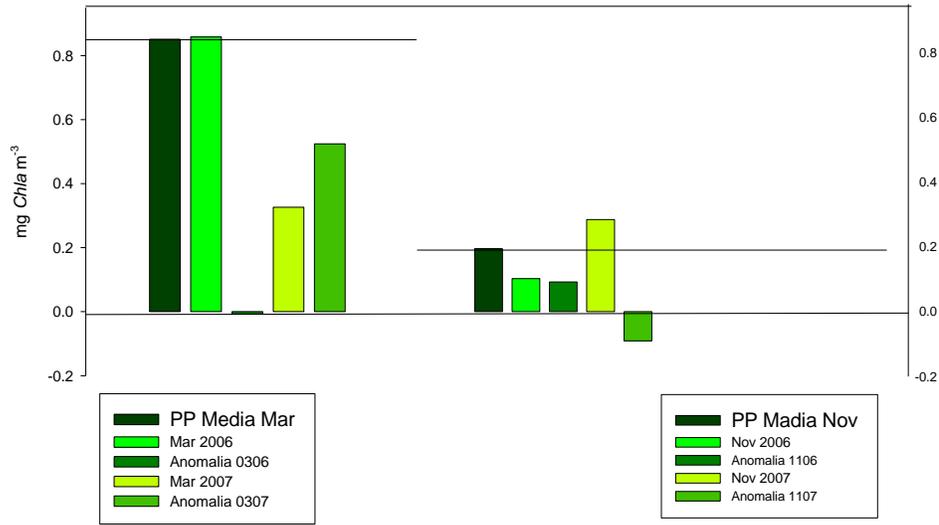
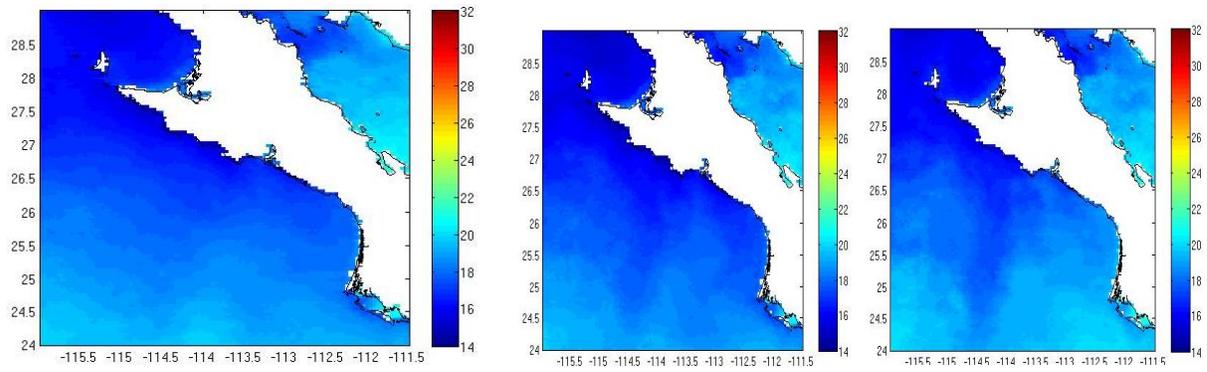


Figura 7. Anomalías de producción primaria calculadas con datos de satélite de 1997 a 2008 para la zona oceánica frente al Complejo Lagunar Bahía Magdalena-Almejas.

Las anomalías de temperatura en conjunto con el índice multivariado del fenómeno de “El Niño” (MEI, por sus siglas en inglés) permitieron detectar características relacionadas con el fenómeno climático interdecadal “El Niño”.

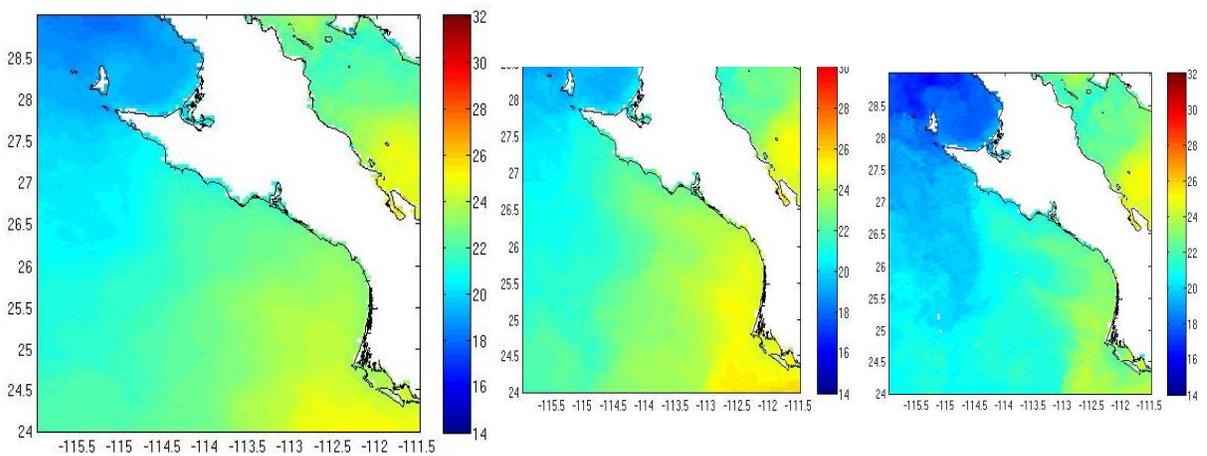
Se realizó un promedio de 5 años de la TSM para contrastarlo con la TSM registrada durante las temporadas de muestreo (Figura 8 a, d). Para el caso de Marzo 2007 (Figura 8 c), la temperatura registrada mostró un incremento de 3°C en comparación con el promedio de cinco años (19°C, Figura 8 a) y con respecto a la registrada durante Marzo de 2006 (19.3°C, Figura 8 b). Noviembre de 2006 (27°C, Figura 8 e) fue diferente al promedio de 5 años (24°C, Figura 8 d), pero Noviembre de 2007 no mostró diferencias (24.7°C Figura 8 f) con respecto al promedio como puede verse en la Figura 8.



a) TSM promedio Marzo 2002-2007

b) TSM Marzo 2006

c) TSM Marzo 2007



d) TSM promedio Noviembre 2002-2007

e) TSM Noviembre 2006

f) TSM Noviembre 2007

Figura 8. Temperatura superficial del mar (TSM) promedio 2002-2007 (a, d) y durante cada muestreo (b, c, e, f).

8.1.2 Datos de CTD

Con datos de salinidad y temperatura se caracterizaron las masas de agua presentes en la zona de estudio. De acuerdo a la caracterización y nomenclatura de Torres–Orozco (1993) se detectaron tres masas de agua en las costas del Pacífico Mexicano en la región de Bahía Magdalena, sin embargo la presencia del agua superficial ecuatorial (ASE) solo se detectó en la temporada de otoño (González-Rodríguez, 2008) (Figura 9).

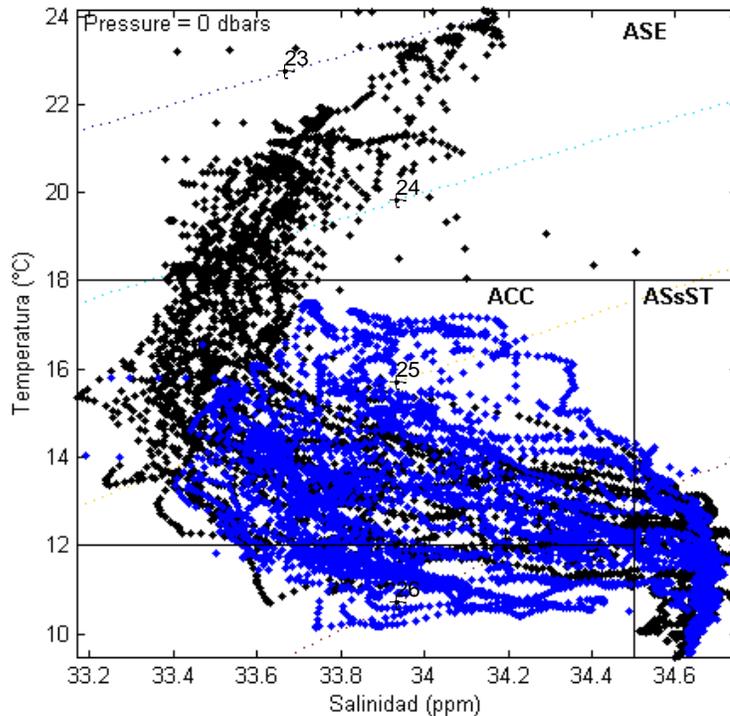


Figura 9. Masas de agua en la región oceánica frente a Bahía Magdalena. Los puntos azules son datos colectados durante el crucero realizado en primavera de 2006, los puntos negros son datos del crucero realizado en otoño de 2006. ASE: Agua superficial Ecuatorial ($S < 35$, $Temp. \geq 18^{\circ}\text{C}$); ACC: Agua de la Corriente de California ($S < 34.5$, $Temp. 12 - 18^{\circ}\text{C}$); ASsST: Agua sub superficial sub tropical ($S 34.5 - 35$, $Temp. 9 - 18^{\circ}\text{C}$).

Durante el muestreo de Marzo de 2007 se registró la presencia del ASE en la zona de muestreo, a diferencia de Marzo de 2006 en donde solo se detectó la presencia de ACC y ASsST (Figura 10), lo cual es evidencia de la influencia de aguas tropicales en área como consecuencia del fenómeno de “El Niño” moderado detectado también con la TSM.

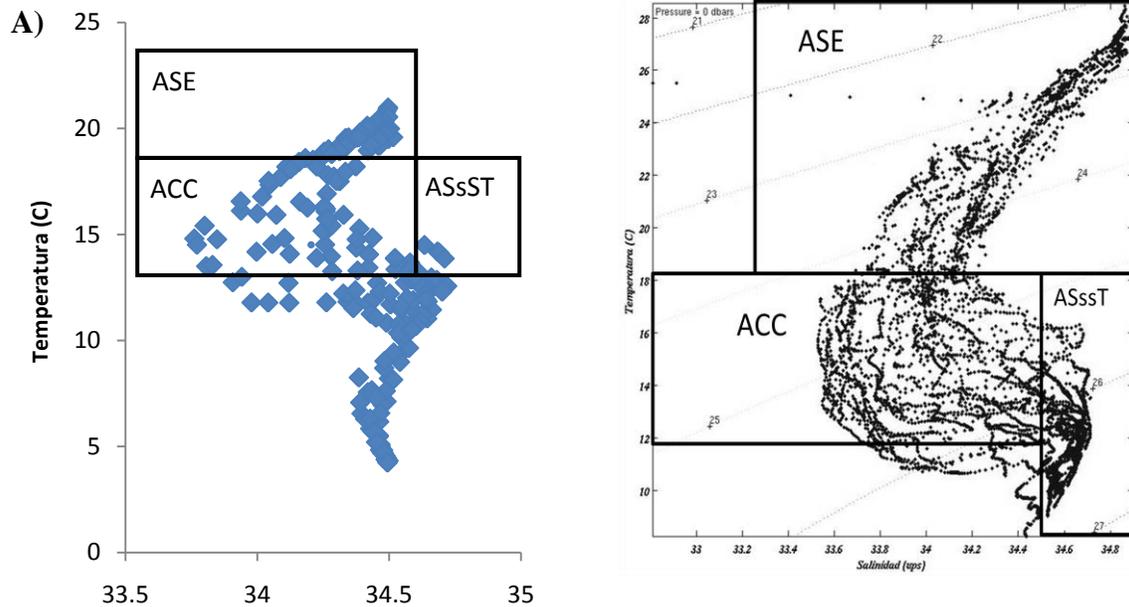


Figura 10. Masas de agua detectadas utilizando los datos colectados en el crucero IMECOAL (línea 138 2007) en la región oceánica adyacente a Bahía Magdalena (A) y datos colectados durante Noviembre de 2007 en el crucero de Noviembre de 2007 (B). ASE: Agua superficial Ecuatorial ($S < 35$, $Temp. \geq 18^{\circ}C$); ACC: Agua de la Corriente de California ($S < 34.5$, $Temp. 12 - 18^{\circ}C$); ASsST: Agua sub superficial sub tropical ($S 34.5 - 35$, $Temp. 9 - 18^{\circ}C$).

8.1.3 Productividad primaria neta (PPN)

Las gráficas de productividad primaria neta en el área de estudio muestran el marcado contraste que existe en esta variable oceanográfica con respecto al tiempo (Figura 11 y Figura 12). El primer semestre del año y en particular en el mes de Marzo de 2006, se registró una intensa productividad primaria alcanzando valores de hasta $1000 \text{ mg C m}^{-2} \text{ d}^{-1}$. En el caso del segundo semestre del año la productividad en el área decrece considerablemente llegando en algunos periodos a ser menor a $100 \text{ mg C m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ (Figura 11).

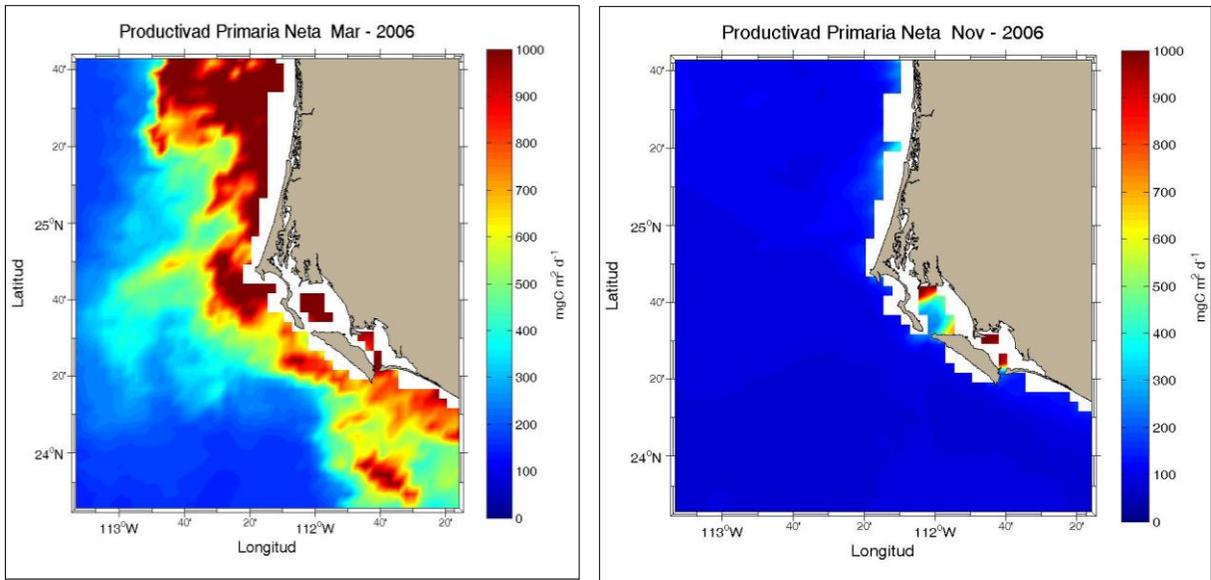


Figura 11. Productividad primaria neta registrada en la zona oceánica frente a Bahía Magdalena B.C.S durante 2006.

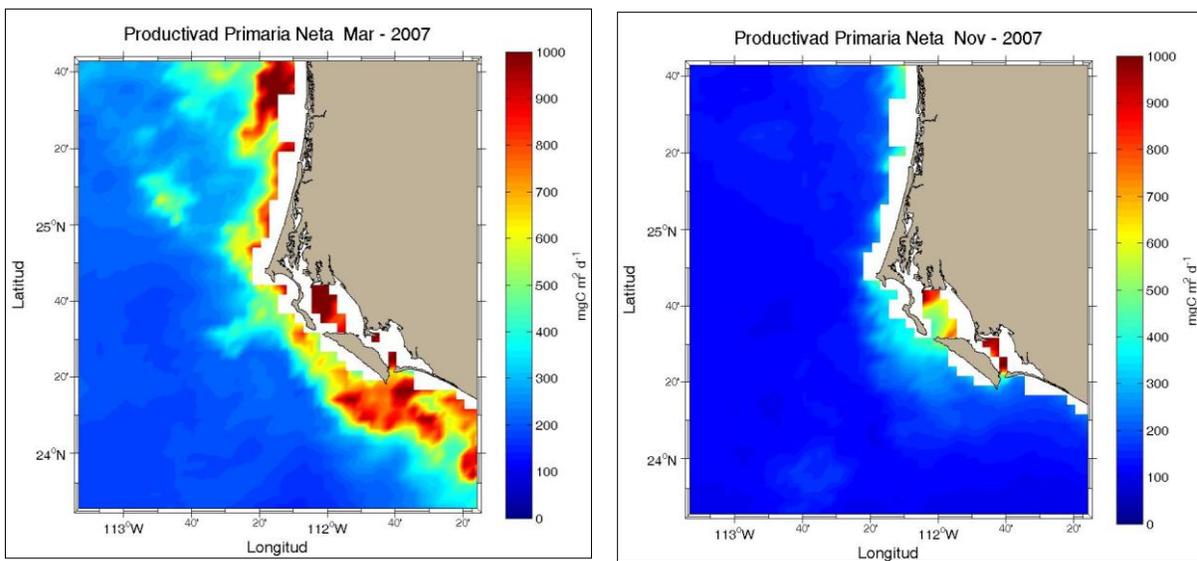


Figura 12. Productividad primaria neta registrada en la zona oceánica frente a Bahía Magdalena B.C.S durante 2007.

Durante 2007 la productividad en el área mostró el mismo comportamiento registrado en 2006 y para el área adyacente reportado por González–Rodríguez (2008). La productividad primaria neta es mayor en Marzo de 2007 en comparación con Noviembre de 2007 (Figura 12), aunque las imágenes muestran que Marzo de 2007 fue menos productivo que Marzo de 2006.

8.2 Estructura diferencial de la comunidad de peces demersales

Dado que el objetivo del estudio es determinar diferencias en contenido estomacal y la señal isotópica de las especies presentes en las dos temporadas durante los dos años de muestreo fue necesario determinar si existían especies que fueran comunes a las cuatro temporadas y si estas especies presentaban contenido estomacal identificable. Se analizó un total de 1,456 organismos capturados durante de los dos años, sin embargo el número de especies capturadas durante las cuatro temporadas no fue constante presentándose un numero considerablemente mayor durante el 2006 en comparación con el 2007 (Figura 13).

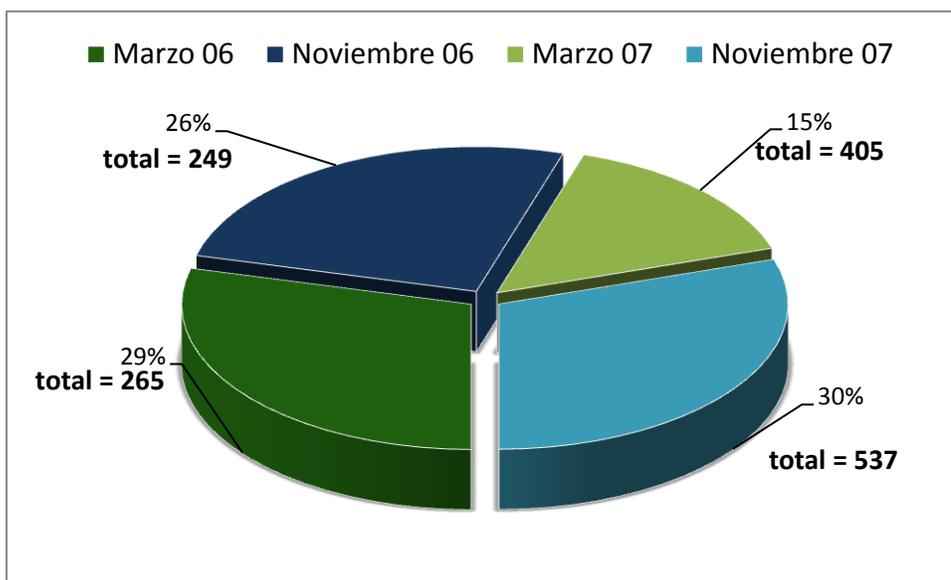


Figura 13. Distribución de los peces demersales capturados en las cuatro temporadas durante 2006 y 2007 en la zona oceánica frente a Bahía Magdalena, B. C. S.

Algunas de las especies capturadas, como el caso de *Citharichthys xanthostigma* estuvo representada dentro de las diez especies más abundantes con contenido estomacal en las cuatro temporadas. La especie *Kathetostoma averruncus* se encontró presente en tres de las cuatro temporadas dentro de las diez más abundantes y *Bellator gymnostethus* solo se encontró dentro de las diez más abundantes durante las temporadas de Noviembre, bajo el mismo contexto el género *Hippoglossina* se encontró presente durante la temporada de Marzo (Tabla 2). Las especies que presentaron contenido estomacal y que además se encontraron presentes en diversas temporadas fueron seleccionadas para su análisis isotópico.

Tabla 2. Peces con contenido estomacal más abundantes (porcentaje de la captura) presentes en las cuatro temporadas de muestreo.

Especie	2006		2007	
	Marzo 06 %	Noviembre 06 %	Marzo 07 %	Noviembre 07 %
<i>Antennarius avalonis</i>				1.9
<i>Bellator gymnostethus</i>		8.8		6.6
<i>Bellator loxias</i>			5.2	
<i>Bellator xenisma</i>			3.8	
<i>Calamus brachysomus</i>				30.2
<i>Cephalurus cephalus</i>	3.4			
<i>Citharichthys xanthostigma</i>	7.4	24.3	21	29.2
<i>Diplectrum labarum</i>	11.3			1.9
<i>Eucinostomus dowii</i>		5		
<i>Hippoglossina bollmani</i>			14.3	
<i>Hippoglossina stomata</i>	13.3	8.3		
<i>Kathetostoma averruncus</i>	12.3	9.4	2.4	
<i>Lepophidium stigmatistium</i>	9.9			12.3
<i>Merluccius angustimanus</i>			5.2	
<i>Peprilus simillimus</i>	9.9			
<i>Peprilus snyderi</i>				3.8
<i>Porichthys analis</i>	3.4	6.1		2.8
<i>Prionotus albirostris</i>	5.4	13.8	10	2.8
<i>Syacium latifrons</i>				2.8
<i>Synodus lucioceps</i>	13.3	4.4	11.9	
<i>Xystreurys liolepis</i>		4.4	4.3	2.8
<i>Zalietus elater</i>		3.3	3.3	5.7

8.3 Contenido estomacal

8.3.1 *Citharichthys xanhostigma*

El espectro trófico de *C. xanhostigma* estuvo dominado por crustáceos planctónicos del género *Euphausia* durante el año de 2007 en más del 70 % (Figura 14). Este grupo estuvo representado en menor porcentaje en los estómagos durante Marzo de 2006 y mínimamente durante Noviembre de 2006, temporada en la cual los gusanos marinos (Polychaeta) dominaron en el contenido estomacal junto con crustáceos no identificados (Figura 14). La langostilla *Pleuroncodes planipes* domino en el contenido estomacal durante Marzo de 2006 y tuvo una menor presencia durante Marzo de 2007 y durante Noviembre de 2006 (IRI% < 20, IRI% < 5, respectivamente, Figura 14). Durante Noviembre de 2007 no se encontró *P. planipes* en ningún estomago (Figura 14).

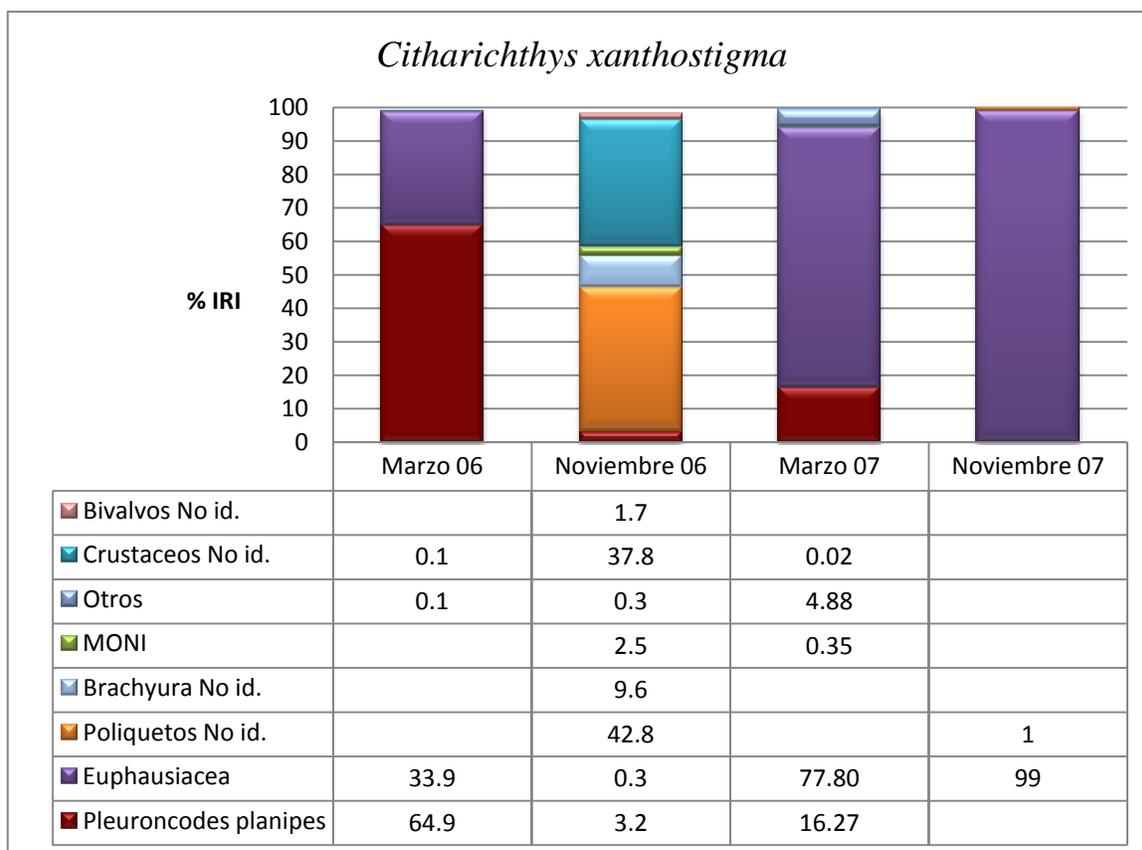


Figura 14. Contenido estomacal (%IRI) de *Citharichthys xanhostigma* frente a Bahía Magdalena B.C.S.

8.3.2 *Kathetostoma averruncus*

Otra especie presente en las cuatro temporadas fue *K. averruncus* aunque en la temporada de Noviembre de 2007 ninguno de los organismos capturados presentó contenido estomacal. La dieta de *K. averruncus* estuvo constituida en más del 90 %IRI por *Pleuroncodes planipes* en las tres temporadas con contenido estomacal, destacando Marzo de 2007, cuando estuvo presente en un 100 %IRI (Figura 15). Un punto contrastante fue la baja presencia de esta especie durante Noviembre de 2007 (Tabla 2) y su nulo contenido estomacal en los escasos organismos recolectados.

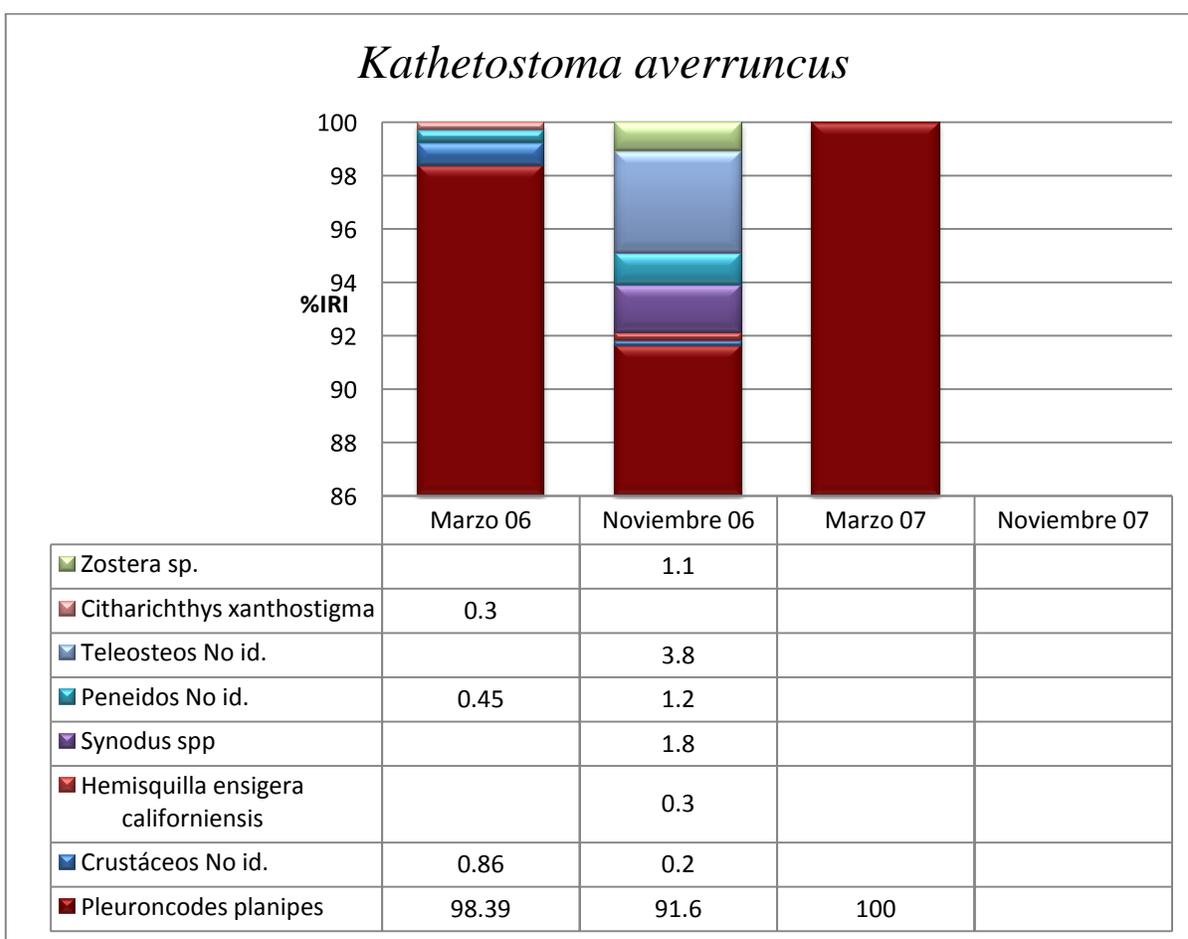


Figura 15. Contenido estomacal (%IRI) de *Kathetostoma averruncus* frente a Bahía Magdalena B.C.S.

8.3.3 *Hippoglossina stomata*

El lenguado *H. stomata* presentó contenido estomacal en tres temporadas sin ningún patrón específico. Durante Marzo de 2006 esta especie presentó un dominio de la langostilla *P. planipes* decreciendo su importancia en las otras dos temporadas (Figura 16). En Noviembre de 2006 registró un notable dominio en la dieta por parte del camarón mantis *Hemisquilla ensigera californiensis* (Figura 16). Durante Noviembre de 2007, el contenido estomacal estuvo dominado por peces y larvas de éstos (Figura 16).

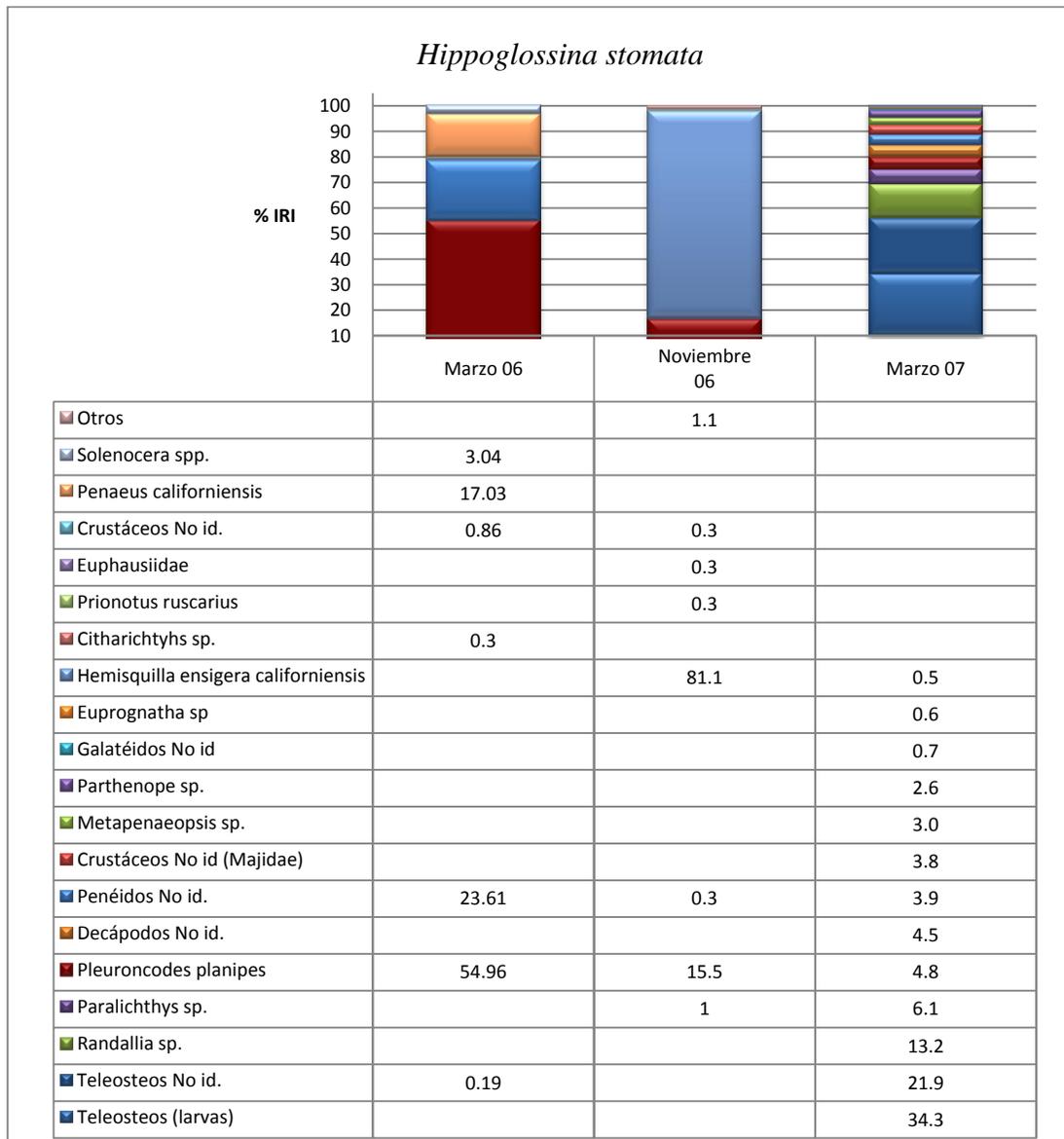


Figura 16. Contenido estomacal (%IRI) de *Hippoglossina stomata* frente a Bahía Magdalena B.C.S.

8.3.4 *Prionotus albirostris*

El espectro trófico de *P. albirostris* varió durante las tres temporadas en las que se registró esta especie. Durante Marzo de 2006 fueron los crustáceos planctónicos del género *Euphausia* el cual redujo su presencia durante Noviembre de 2006 y fue nula en Marzo de 2007 (Figura 17). Durante Noviembre de 2006 la dieta estuvo dominada por *P. planipes*, especie que también estuvo presente en la dieta durante Marzo de 2006 aunque sin ser dominante. Durante Marzo de 2007 la dieta estuvo dominada por pequeños camarones el género *Processidae* (ca. 100 %IRI, Figura 17).

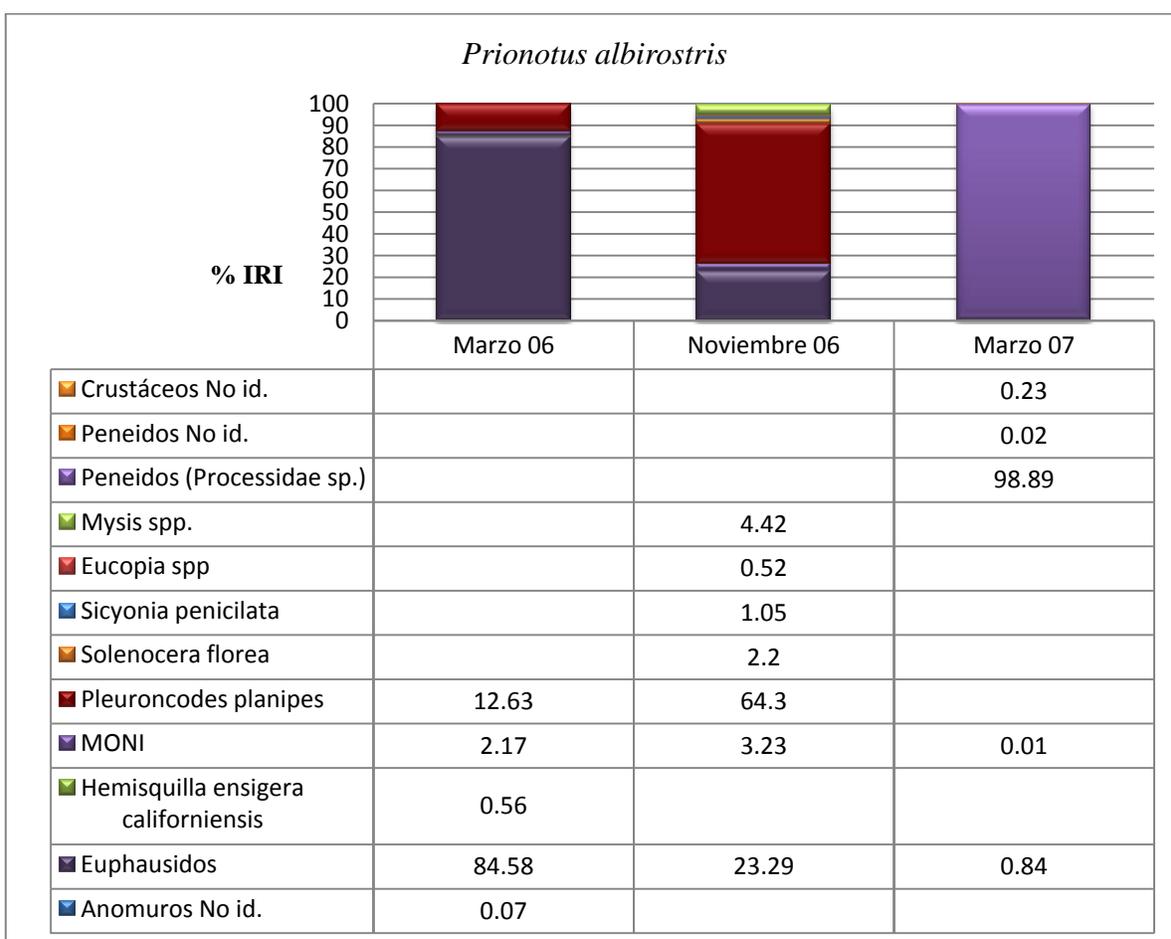


Figura 17. Contenido estomacal (%IRI) de *Prionotus albirostris* frente a Bahía Magdalena B.C.S.

8.3.5 *Synodus lucioiceps*

El espectro trófico del chilillo, *Synodus lucioiceps* estuvo dominado por los crustáceos planctónicos del género *Euphausia* durante Marzo de 2006 y 2007. Durante Noviembre de 2006 la presa dominante fue la *M. angustimanus*, la langostilla *P. Planipes*, elemento de la dieta que también se encontró presente durante Marzo 2006 aunque con una menor presencia (Figura 18).

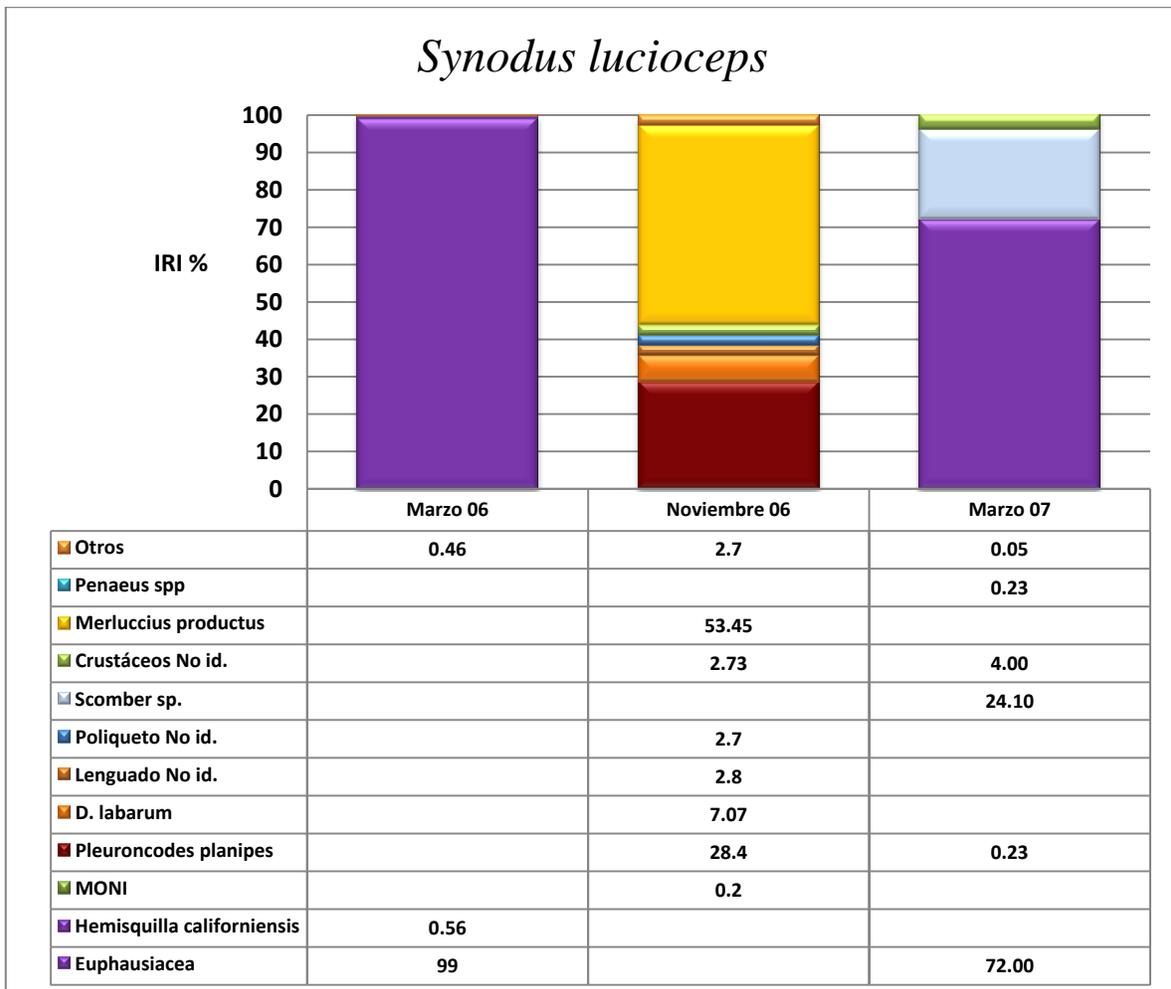


Figura 18. Contenido estomacal (%IRI) de *Synodus luccioiceps* frente a Bahía Magdalena B.C.S.

8.3.6 *Zalietus elater*

El espectro trófico de *Zalietus elater* estuvo constituida en su mayoría por la clase Polychaete. Durante Marzo de 2007 la presencia en el contenido estomacal de esta clase de anélidos fue mayor que en las otras dos temporadas, registrando más de 90 %IRI (Figura 19). Por otro lado la presencia de este elemento fue de más de 75 %IRI en Noviembre de 2006 y más de 50 %IRI en Noviembre de 2007 (Figura 19). El género *Euphausia* se presentó en dos temporadas alcanzando más de 40 %IRI durante Noviembre de 2007 (Figura 19).

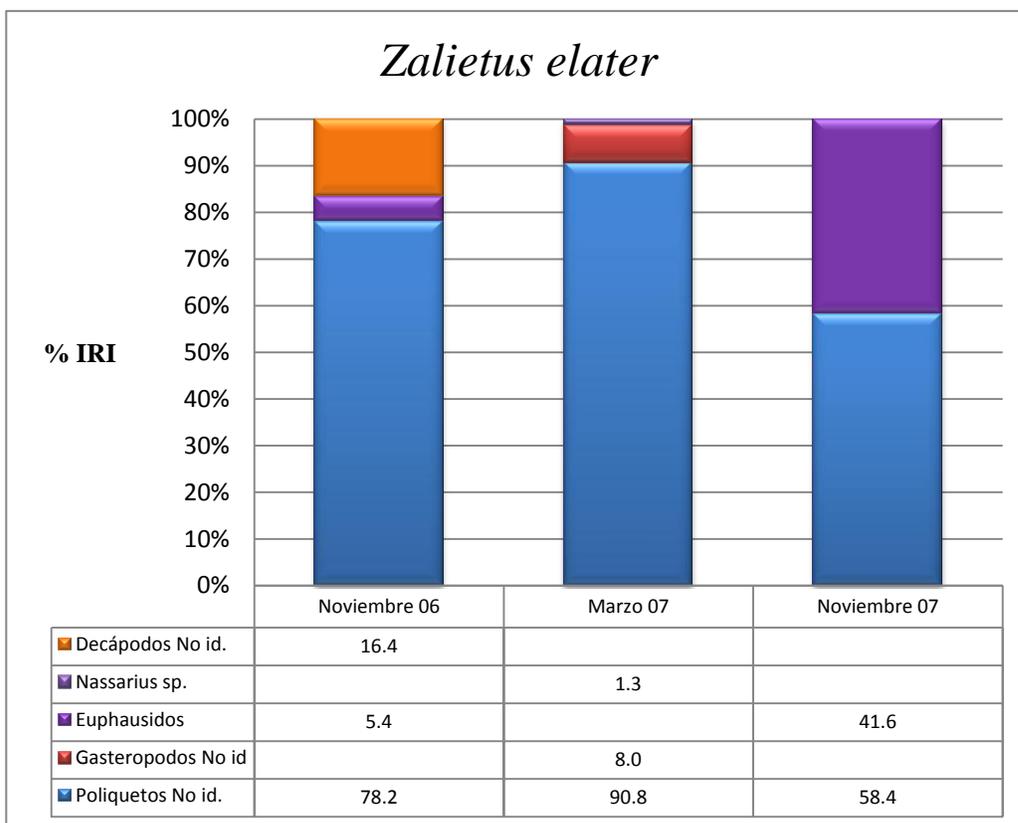


Figura 19. Contenido estomacal (%IRI) de *Zalietus elater* frente a Bahía Magdalena B.C.S.

8.3.7 *Diplectrum labarum*

El espectro trófico de *D. labarum* estuvo dominado por crustáceos planctónicos del género *Euphausia* durante la temporada de Marzo de 2006; otros elementos en su dieta con menor contribución (%IRI < 5) fueron la langostilla *P. planipes* y peces teleosteos que se presentaron de forma ocasional, aunque *P. planipes* se encontró más abundante en comparación con los teleósteos (Figura 20).

Durante la temporada de Noviembre de 2006 el elemento dominante de la dieta fueron crustáceos no identificados debido a su elevado estado de digestión y bivalvos (Figura 20). Durante Noviembre de 2007 el espectro trófico estuvo constituido mayoritariamente (%IRI = 68.8) por teleósteos difíciles de identificar debido a su elevado estado de digestión y fragmentos de decápodos (Figura 20).

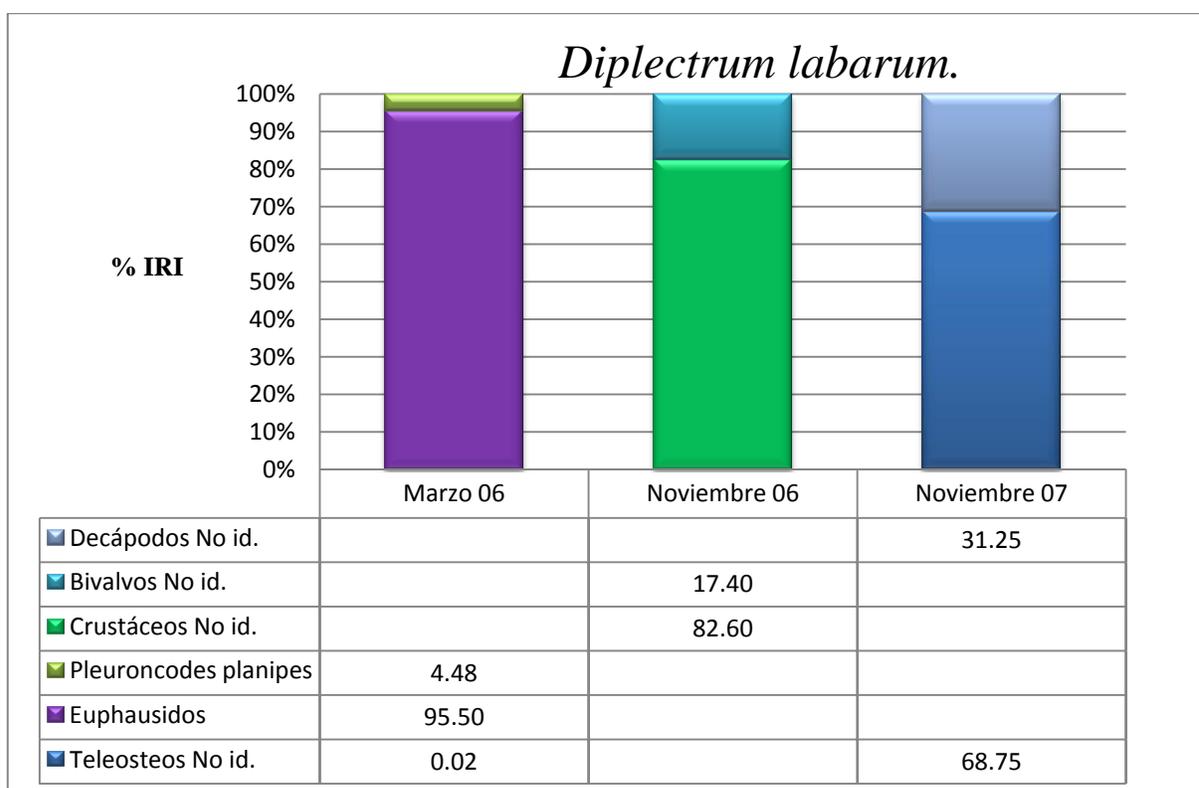


Figura 20. Contenido estomacal (%IRI) de *Diplectrum labarum* frente a Bahía Magdalena B.C.S.

8.3.8 *Lepophidium stigmatistium*

El espectro trófico de *Lepophidium stigmatistium* estuvo dominado por peces durante Marzo de 2006 (80 %IRI) y secundariamente por langostilla *P. planipes* (Figura 21). Durante Noviembre 2007 la dieta cambió, siendo la presa dominante los camarones Dendrobranchiata (61.9 %IRI) y otros crustáceos (Figura 18).

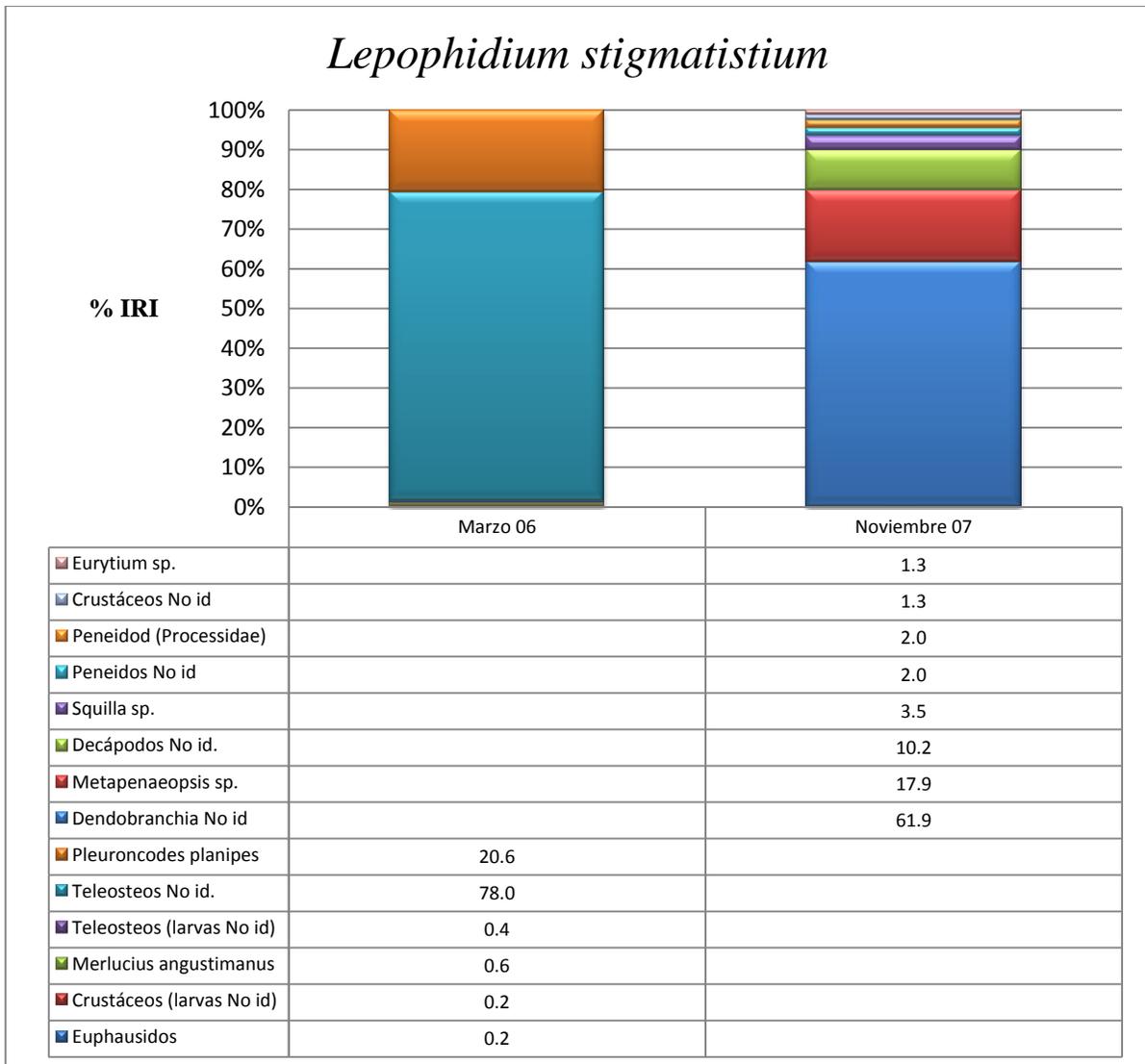


Figura 21. Contenido estomacal (%IRI) de *Lepophidium stigmatistium* frente a Bahía Magdalena B.C.S.

8.3.9 *Bellator gymnostethus*

El espectro trófico de *Bellator gymnostethus* estuvo conformado prácticamente por crustáceos. Durante Noviembre de 2006 el género *Euphausia* dominó en el contenido estomacal de esta especie (Figura 22). Otros ocho elementos más estuvieron presentes en la dieta de esta especie, sin embargo no representaron una mayor contribución. Durante Noviembre de 2007 el alimento principal fueron decápodos no identificados y camarones peneidos (Figura 22).

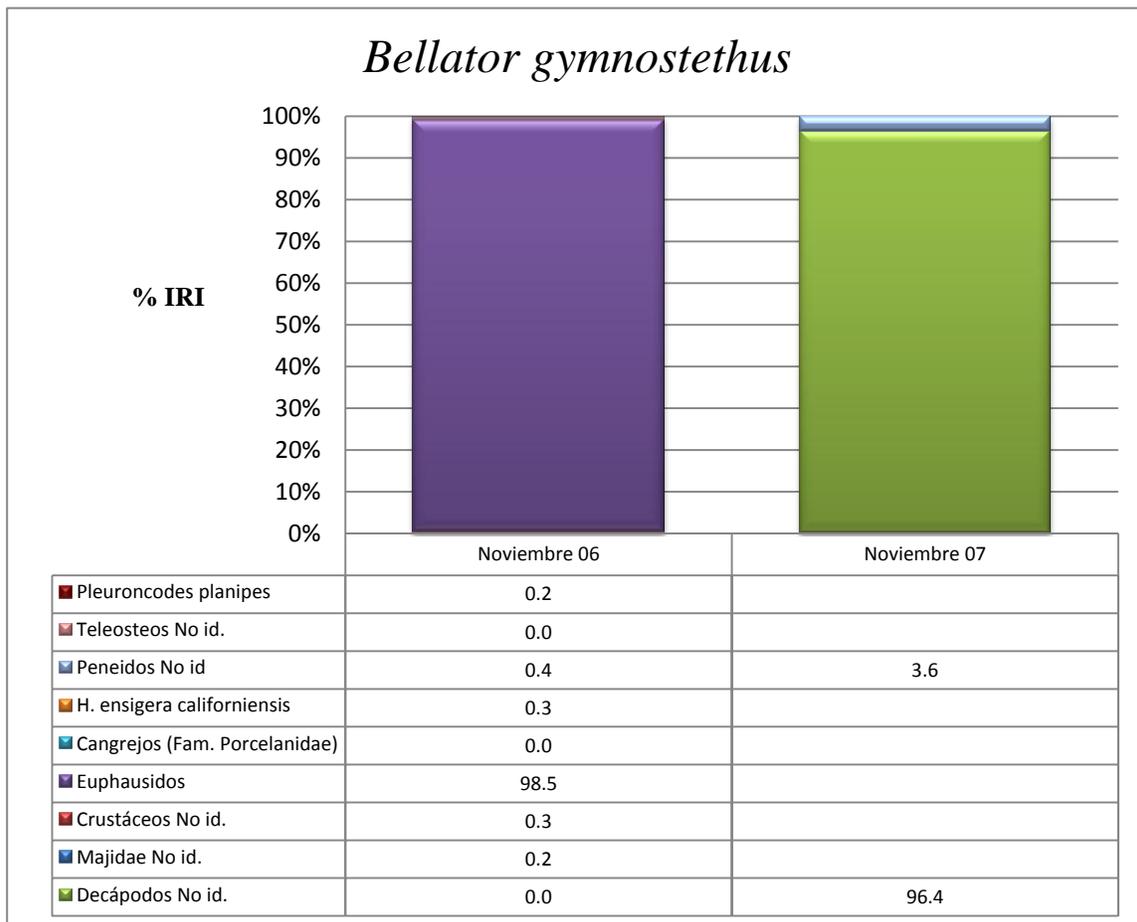


Figura 22. Contenido estomacal (%IRI) de *Bellator gymnostethus* frente a Bahía Magdalena B.C.S.

8.3.10 *Merluccius angustimanus*

El espectro trófico de *Merluccius angustimanus* estuvo conformado por dos especies ícticas que contribuyeron casi de igual forma durante Marzo de 2006. Una de ellas fue *Argentina sialis* (Osmeriformes: Argentinidae), una pequeña especie comúnmente asociada a los fondos blandos, contribuyó aproximadamente con un 40 %IRI, mientras que el 60 %IRI restante fueron peces teleósteos no identificados por su elevado estado de digestión (Figura 23). Durante Marzo de 2007 esta especie presentó canibalismo, alimentándose de organismos juveniles de su misma especie (87 %IRI). Eufausidos y crustáceos se presentaron en poca proporción (%IRI < 5) (1.3 y 1.2 %IRI respectivamente; Figura 23). Durante Noviembre se recolectaron escasos ejemplares de merluza, todos sin contenido estomacal.

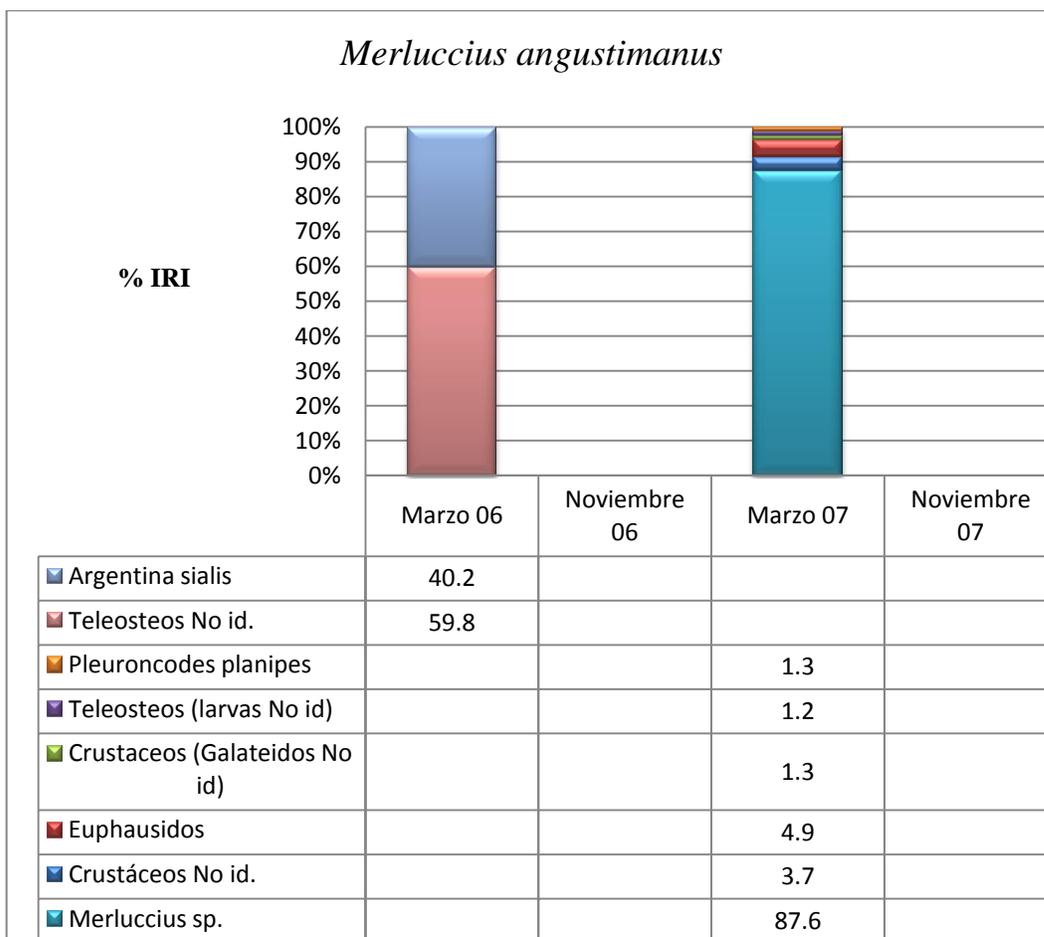


Figura 23. Contenido estomacal (%IRI) de *Merluccius angustimanus* frente a Bahía Magdalena B.C.S.

8.3.11 *Peprilus spp.*

El espectro trófico de *Peprilus spp* estuvo conformado principalmente de crustáceos. Durante Marzo de 2006 el género *Euphausia* representó el 100 %IRI de contenido estomacal (Figura 24). Durante Noviembre de 2007 crustáceos con un elevado estado de digestión conformaron más del 70 %IRI de contenido estomacal, en segundo lugar se encontraron decápodos difíciles de identificar por el mismo motivo con un 16. 8 %IRI, y crustáceos pelágicos del género *Euphausia* con 10 %IRI de contenido estomacal.

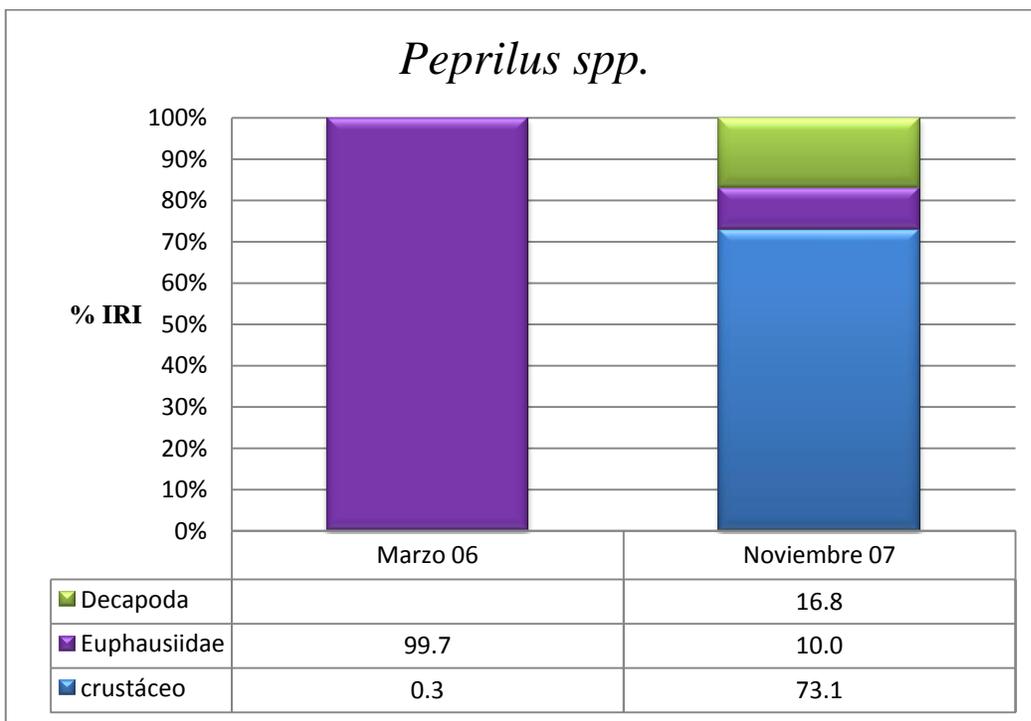


Figura 24. Contenido estomacal (%IRI) de *Peprilus spp.* frente a Bahía Magdalena B.C.S.

8.3.12 Índice de Levin

De acuerdo al índice de Levin algunas especies ícticas como *P. simillinus*, *S. lucioceps*, *P. albirostris*, *K. averruncus*, *L. stigmatistium*, *H. stomata* y *C. xanthostigma*, presentan una estrategia trófica de especialistas (al menos para las temporadas con que se contó con estómagos), mientras que otras como *Z. elater*, *M. angustimanus*, y *D. labarum*, fueron caracterizadas como especialista en las temporadas de 2006 y como generalista en las temporadas de muestreo de 2007 (Figura 25).

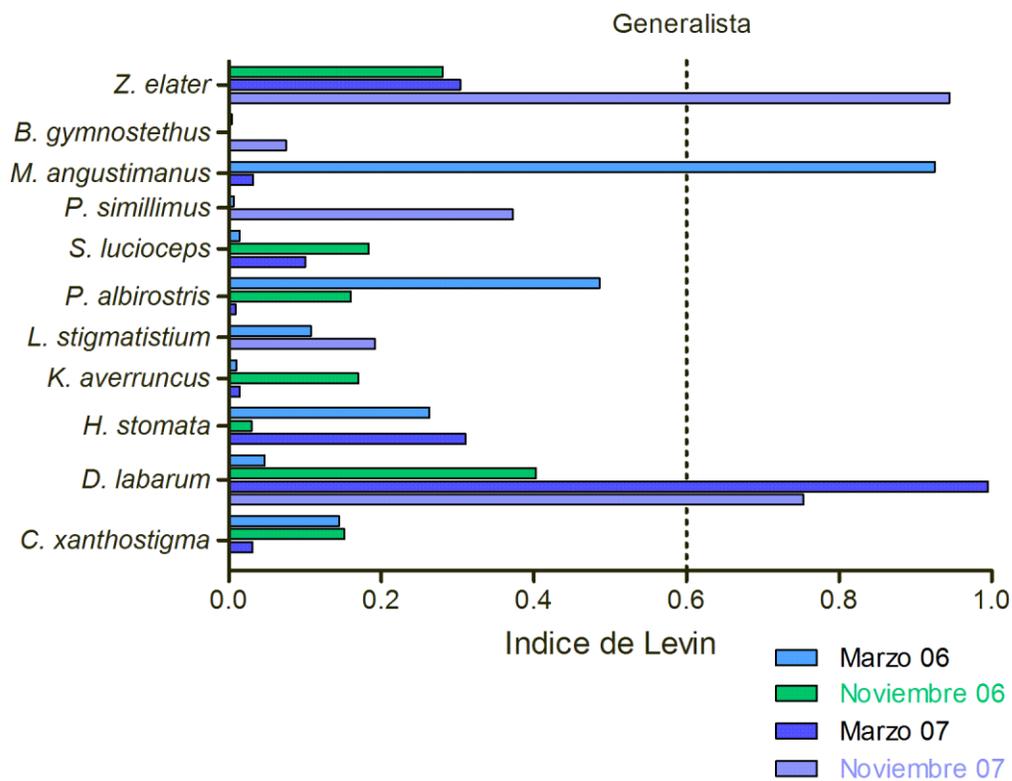


Figura 25. Índice de Levin calculado para las especies demersales capturadas en Marzo y Noviembre de 2006 y 2007 frente a Bahía Magdalena, B.C.S. Cuando el Índice de Levin es mayor a 0.6 estrategia trófica de la especie es generalista

8.3.13 Nivel trófico obtenido a partir del contenido estomacal

De acuerdo a la rutina Trophlab empleada para el cálculo de nivel trófico con la información del contenido estomacal, las especies que registraron un mayor nivel trófico (Nt) fueron *M. angustimanus*, *L. stigmatistium*, *D. labarum* y *H. stomata* (4.5, 4.3, 4.2, 4.0 respectivamente; Tabla 3), lo cual responde a los hábitos ictiófagos que presentan estas especies. El resto de las especies se mantuvieron en un intervalo comprendido entre 3.2 – 3.7. Las especies con el menor nivel trófico (3.2) reflejan su preferencia por eufausidos, mientras que valores intermedios comprendidos en un intervalo de 3.3 – 3.7 reflejan una preferencia por crustáceos bentónicos..

Tabla 3. Nivel trófico de las especies de los peces durante las cuatro campañas de muestreo frente a Bahía Magdalena, B.C.S. calculado a partir de los valores de IRI. (A.M = ausente en el muestreo; Sin cont = Sin contenido estomacal)

	Marzo 06	Noviembre 06	Marzo 07	Noviembre 07
<i>Citharichthys xanthostigma</i>	3.5±0.5	3.3±.4	3.3±0.4	3.2±0.4
<i>Kathetostoma averruncus</i>	3.6±0.6	3.5±0.5	3.6±0.6	Sin cont
<i>Synodus lucioceps</i>	3.2±0.4	3.4±0.5	3.3±0.5	A.M
<i>Diplectrum labarum</i>	3.2±0.4	3.5±0.5	S. P	4.2±0.7
<i>Hippoglossina stomata</i>	3.6±0.6	4±0.6	3.7±0.6	A.M.
<i>Prionotus albirostris</i>	3.4±0.5	3.4±0.5	3.6±0.6	A.M.
<i>Merluccius angustimanus</i>	4.5±0.8	A.M.	4.4±0.8	Sin cont
<i>Zalietus elater</i>	A.M	3.1±0.3.	3.1±0.3	3.1±0.3
<i>Lepophidium stigmatistium</i>	4.3±0.8	A.M.	S. P	3.6±0.6
<i>Bellator gymnostethus</i>	A.M.	3.2±0.4	3.2±0.4	3.5±0.5
<i>Peprilus simillimus</i>	3.2±0.4	A.M.	A.M.	3.5±0.5

8.4 Isotopos estables de C y N

8.4.1 Peces Demersales

De forma general el $\delta^{13}\text{C}$ se mantuvo entre -18 ‰ y -17 ‰ registrándose una señal más empobrecida de ^{13}C durante el mes de Marzo de 2006 (-18.20 ‰, Tabla 4) y los valores más enriquecidos durante la temporada de Noviembre de 2006 (-17.74 ‰, Tabla 4). El $\delta^{15}\text{N}$ se mantuvo en valores entre 14 ‰ y 17 ‰ encontrándose los

valores más enriquecidos durante Marzo de 2007 (16.20 ‰, Tabla 4) y los más empobrecidos durante Marzo de 2006 (16.02 ‰, Tabla 4). Como se mencionó anteriormente la composición específica no fue constante en las cuatro temporadas, a pesar de ello el promedio de $\delta^{15}\text{N}$ se mantuvo centrado en 16 ‰ para las cuatro temporadas (Tabla 4).

Tabla 4. Descriptores estadísticos por temporada de la señal de $\delta^{13}\text{C}$ y $\delta^{15}\text{N}$ en musculo de peces demersales colectados en la zona oceánica frente a Bahía Magdalena.

$\delta^{13}\text{C}$					
	#	Mínimo	Máximo	Media	Desv. std
Marzo 2006	87	-19.55	-17.27	-18.20	0.51
Noviembre 2006	48	-19.33	-16.62	-17.74	0.52
Marzo 2007	64	-19.73	-16.35	-17.90	0.58
Noviembre 2007	64	-18.82	-16.29	-17.86	0.56

$\delta^{15}\text{N}$					
	#	Mínimo	Máximo	Media	Desv. std
Marzo 2006	87	14.10	17.68	16.02	0.77
Noviembre 2006	48	14.61	17.66	16.16	0.62
Marzo 2007	64	14.88	17.71	16.60	0.77
Noviembre 2007	64	14.51	18.09	16.14	0.82

= Número total de muestras por temporada

La prueba de Mann-Whitney ($\alpha = 0.05$) mostró diferencias significativas en el caso de $\delta^{13}\text{C}$ al comparar Marzo de 2006 con las otras tres temporadas. La señal de $\delta^{15}\text{N}$ registró diferencias al comparar Marzo de 2007 con Marzo de 2006 y Noviembre en ambos años (Tabla 5).

Tabla 5. Prueba de Mann-Whitney ($\alpha = 0.05$) realizada a la señal isotópica de C y N en músculo de peces demersales colectados en la zona oceánica frente a Bahía Magdalena.

		$\delta^{13}\text{C}$			
		Marzo 06	Noviembre 06	Marzo 07	Noviembre 07
Marzo 06			0.0001	0.001	0.001
Noviembre 06				n.s.	n.s.
Marzo 07					n.s.
Noviembre 07					

		$\delta^{15}\text{N}$			
		Marzo 06	Noviembre 06	Marzo 07	Noviembre 07
Marzo 06			n.s.	0.0001	n.s.
Noviembre 06				0.001	n.s.
Marzo 07					0.002
Noviembre 07					

n.s. = No significativo

De forma específica la señal de $\delta^{13}\text{C}$ más empobrecida en ^{13}C fue detectada en *Peprilus simillimus* durante Marzo de 2006 (-19.26 ‰, Tabla 6) mientras que la especie que presentó los valores más enriquecidos en ^{13}C fue *Zalietus elater* durante Noviembre de 2007 (-16.87 ‰, Tabla 6). En el caso de $\delta^{15}\text{N}$ la especie que registró el valor más enriquecido fue *Zalietus elater* durante Noviembre de 2007 (17.31 ‰, Tabla 6) mientras que la especie que presentó el valor más empobrecido fue *Peprilus simillimus* durante Marzo de 2006 (14.77 ‰, Tabla 6).

Tabla 6. Isótopos estables de C y N (‰) en tejido de músculo de peces demersales colectados durante las campañas de muestreo de 2006 y 2007.

	Marzo 2006		Noviembre 2006		Marzo 2007		Noviembre 2007	
	$\delta^{13}\text{C}$	$\delta^{15}\text{N}$	$\delta^{13}\text{C}$	$\delta^{15}\text{N}$	$\delta^{13}\text{C}$	$\delta^{15}\text{N}$	$\delta^{13}\text{C}$	$\delta^{15}\text{N}$
<i>Citharichthys xanthostigma</i>	-17.78 ± 0.38	16.03 ± 0.24	-17.65 ± 0.33	15.67 ± 0.23	-17.4 ± 0.18	16.79 ± 0.24	-17.5 ± 0.2	15.8 ± 0.2
<i>Kathetostoma averruncus</i>	-18.11 ± 0.6	15.6 ± 0.5	-17.57 ± 0.3	16.31 ± 0.31	-17.19 ± 0.43	16.5 ± 0.45	-17.7 ± 0.2	16.4 ± 0.4
<i>Diplectrum labarum</i>	-18.3 ± 0.25	16.7 ± 0.28						
<i>Synodus lucioceps</i>	-18.42 ± 0.64	15.49 ± 0.5			-17.98 ± 0.29	16.75 ± 0.20		
<i>Hippoglossina stomata</i>	-17.90 ± 0.21	16.84 ± 0.43	-17.57 ± 0.31	16.67 ± 0.41	-17.68 ± 0.32	17.0 ± 0.7		
<i>Prionotus albirostris</i>	-18.29 ± 0.26	15.7 ± 0.4	-17.1 ± 0.2	15.76 ± 0.3	-18.25 ± 0.75	16.4 ± 0.8		
<i>Merluccius angustimanus</i>	-18.31 ± 0.3	15.7 ± 0.62			-18.29 ± 0.30	15.24 ± 0.23	-18.41 ± 0.32	15.13 ± 0.46
<i>Zalietus elater</i>							-16.87 ± 0.44	17.31 ± 0.49
<i>Lepophidium stigmatistium</i>	-17.95 ± 0.31	16.95 ± 0.26					-17.68 ± 0.21	16.68 ± 0.15
<i>Bellator gymnostethus</i>			-18.10 ± 0.33	16.05 ± 0.52	-18.17 ± 0.34	17.06 ± 0.38	-18.24 ± 0.2	17.04 ± 0.15
<i>Peprilus simillimus</i>	-19.26 ± 0.25	14.77 ± 0.57					-18.14 ± 0.42	15.86 ± 0.14

La señal de $\delta^{13}\text{C}$ mostró menor número de diferencias en comparación con la señal de $\delta^{15}\text{N}$ detectándose en dos especies al comparar la señal de Marzo de diferentes años (Tabla 7). Se resalta que la comparación realizada a las señales de $\delta^{13}\text{C}$ durante Noviembre de 2006 y Marzo de 2007 y Noviembre de 2006 y Noviembre de 2007 no produjeron diferencias estadísticas en las especies colectadas durante estos periodos (Tabla 7). La especie que presentó el mayor numero de diferencias entre temporadas y años fue *K. averruncus* (Tabla 7). Esta especie presentó una señal de $\delta^{13}\text{C}$ más enriquecida en ^{13}C en Marzo de 2007 (-17.19 ‰, Tabla 6) en comparación con el resto de las temporadas. En el caso de *C. xanthostigma* las diferencias se presentaron al comparar las temporadas de Marzo en los dos años (Tabla 7). Esta especie presentó los valores más enriquecidos en ^{13}C durante Marzo de 2007 (-17.4 ‰, Tabla 6) en comparación con las otras tres temporadas. La especie *P. albirostris* presentó diferencias estadísticas al comparar la señales de $\delta^{13}\text{C}$ durante los meses de Marzo de 2006 y Noviembre de 2007 (Tabla 7), presentándose la señal más enriquecida en ^{13}C durante Noviembre de 2006 (-17.1 ‰, Tabla 6).

Tabla 7. Especies que presentaron diferencias estadísticas (Mann-Whitney $\alpha=0.05$) en $\delta^{13}\text{C}$ en las comparaciones realizadas de forma intra e inter anual.

$\delta^{13}\text{C}$
Mann-Whitney test / two-tailed test: Alpha=0.050

	Marzo 2006	Noviembre 2006	Marzo 2007	Noviembre 2007
Marzo 2006		<i>K. averruncus</i>	<i>C. xanthostigma</i> <i>K. averruncus</i>	<i>P. albirostris</i> <i>K. averruncus</i>
Noviembre 2006			*****	*****
Marzo 2007				<i>K. averruncus</i>
Noviembre 2007				

La señal de $\delta^{15}\text{N}$ de *K. averruncus* presentó el mayor número de diferencias estadísticas (5 de 6) en las comparaciones realizadas de forma intra-anual (entre años) e inter-anual (entre temporadas) omitiendo solo la comparación entre Noviembre de 2006 y Noviembre de 2007, temporada en la cual solo la señal de $\delta^{15}\text{N}$ de *B. gymnostethus* resulto estadísticamente diferente (Tabla 8). La señal más enriquecida de esta especie se presentó en Marzo de 2007 y la menor durante Marzo de 2006 (16.5 y 15.6 ‰ respectivamente, Tabla 6) Por otro lado *C. xanthostigma* presentó diferencias estadísticas en 4 de 6 comparaciones no registrándose durante las comparaciones entre Marzo de 2006 y Noviembre de 2007 y Noviembre de 2006 contra Noviembre de 2007 (Tabla 8); esta especie presento una señal más enriquecida durante Marzo de 2007 en comparación con Marzo de 2006 (16.79 y 16.03 ‰ respectivamente, Tabla 4). En otros casos *M. angustimanus* presentó diferencias significativas al comparar Marzo de 2006 con Marzo de 2007 y Marzo de 2006 con Noviembre de 2007, encontrándose una señal más enriquecida en Marzo de 2006 con respecto a Marzo de 2007 (15.7 y 15.24 ‰ respectivamente, Tabla 4). *S. lucioceps* presentó diferencias significativas Marzo de 2006 y Marzo de 2007 encontrándose más enriquecido durante Marzo de 2007 con respecto a Marzo de 2006 (16.75 y 15.49 ‰ respectivamente, Tabla 4) .

Tabla 8. Especies que presentaron diferencias estadísticas (Mann-Whitney $\alpha=0.05$) en $\delta^{15}\text{N}$ en las comparaciones realizadas de forma intra e inter anual.

$\delta^{15}\text{N}$
Mann-Whitney test / two-tailed test: Alpha=0.050

	Marzo 2006	Noviembre 2006	Marzo 2007	Noviembre 2007
Marzo 2006		<i>C. xanthostigma</i> <i>K. averruncus</i>	<i>S. lucioceps</i> <i>M. angustimanus</i> <i>C. xanthostigma</i> <i>K. averruncus</i>	<i>M. angustimanus</i> <i>L. stigmatistium</i> <i>Prepilus spp.</i> <i>K. averruncus</i>
Noviembre 2006			<i>C. xanthostigma</i> <i>K. averruncus</i>	<i>B. gymnostethus</i>
Marzo 2007				<i>C. xanthostigma</i> <i>K. averruncus</i>
Noviembre 2007				

8.4.2 Extracción de lípidos

De acuerdo a diferentes autores (Vetter et al., 1998; Weichbrodt et al., 2000; Post et al., 2007; Logan y Lutcavage, 2008) la extracción de lípidos en las muestras incrementa el valor de $\delta^{13}\text{C}$ debido a que las proteínas y las grasas están enriquecidas en ^{13}C . En casos en los cuales la relación C:N es menor a 3.4 y con un bajo contenido lipídico (como musculo de pez blanco) se recomiendan no realizar ningún tipo de extracción o corrección (Logan et al., 2008). La Figura 26 muestra la relación lineal de los valores calculados con la ecuación de Post et al. (2007) y los valores de $\delta^{13}\text{C}$ después de la extracción de lípidos.

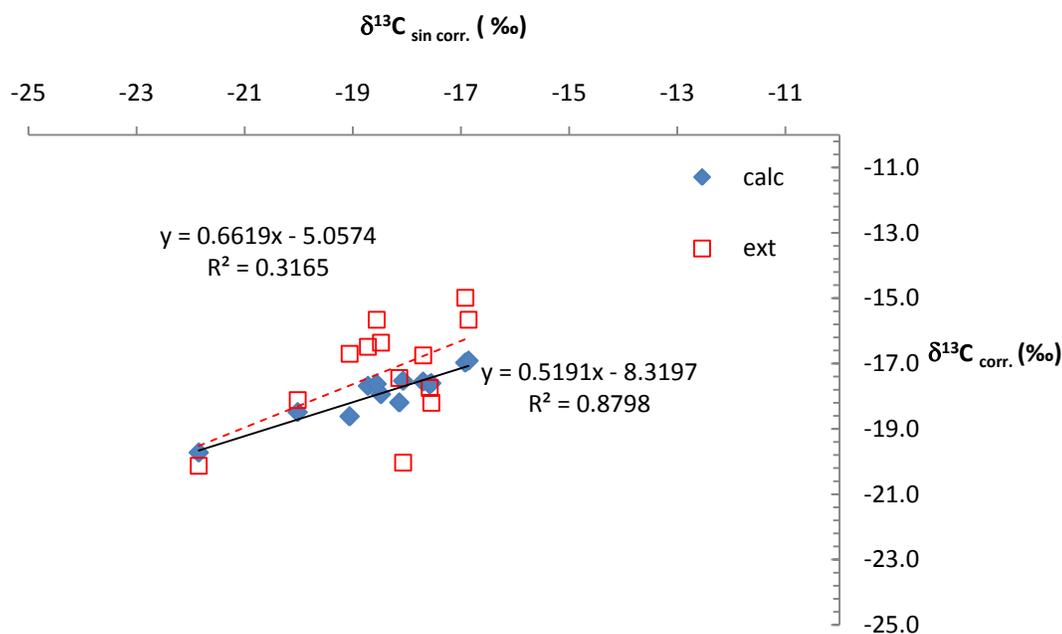


Figura 26. Relación lineal (cuadros rojos) entre los datos de $\delta^{13}\text{C}$ de muestras sin extracción química de lípidos ($\delta^{13}\text{C}_{\text{sin corr}}$) y después de extracción química de lípidos ($\delta^{13}\text{C}_{\text{corr}}$). Los rombos azules corresponden a la relación entre muestras estandarizadas con la ecuación de Post (2007) y valores determinados antes de extracción química de lípidos ($\delta^{13}\text{C}_{\text{sin corr}}$).

Como puede observarse la mejor relación lineal la soporta la corrección matemática (Post et al., 2007). Aunque el caso de la extracción química presenta una

mayor dispersión que resulta difícil de explicar, lo cual puede estar asociado a una extracción incompleta de lípidos en algunas muestras. El conjunto de los dos resultados no presentó diferencias significativas (Mann-Whitney $\alpha = 0.05$) por lo que todos los datos de $\delta^{13}\text{C}$ fueron corregidos con la ecuación de Post et al (Post et al., 2007).

8.4.3 Señal isotópica de mamíferos marinos

La señal isotópica de los depredadores tope mostró una gran dispersión en sus valores, de forma intra e interanual. La señal de $\delta^{13}\text{C}$ de *T. truncatus* presentó un mayor dispersión comparada con lo observado en *Z. californianus* (Figura 27).

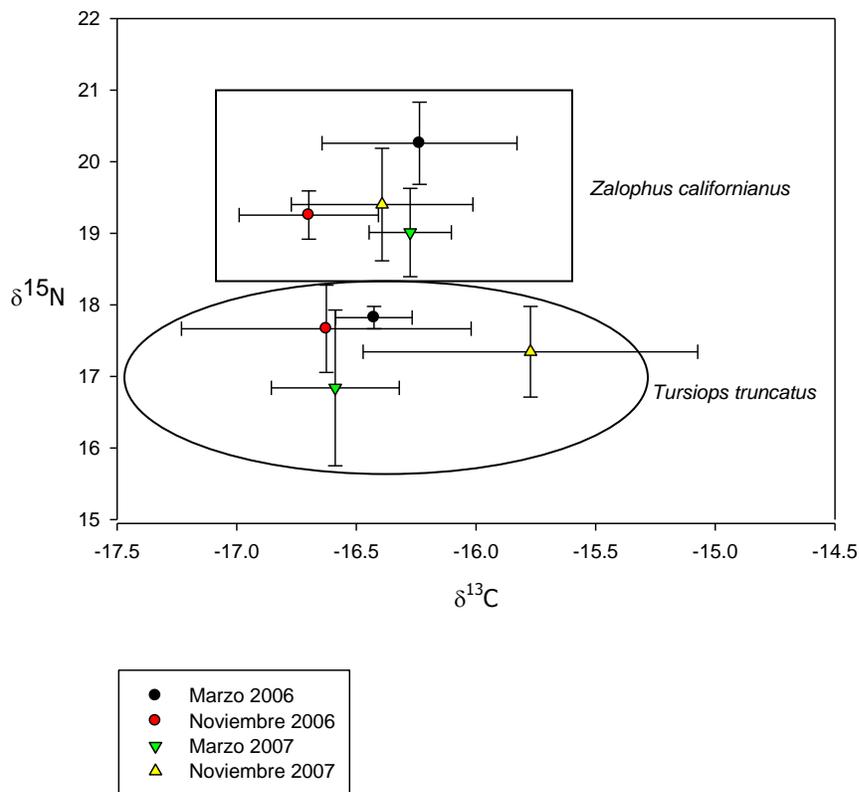


Figura 27. Isótopos estables de C y N en mamíferos marinos varados colectados en la zona de estudio.

Los casos en los que se presentaron diferencias estadísticas en la señal de $\delta^{13}\text{C}$ (Tabla 9) fueron en las comparaciones de *T. truncatus* durante Marzo y Noviembre de 2006 ($-16.23 \pm 0.4 \text{ ‰}$, $-16.69 \pm 0.3 \text{ ‰}$, respectivamente), durante Marzo de 2007 entre *Z. californianus* y *T. truncatus* ($-16.27 \pm 0.2 \text{ ‰}$, $-16.58 \pm 0.26 \text{ ‰}$, respectivamente) y en la comparación entre *Z. californianus* de Noviembre de 2006 y Marzo de 2007 ($-16.69 \pm 0.3 \text{ ‰}$, $-16.27 \pm 0.2 \text{ ‰}$, respectivamente).

La similitud en el $\delta^{13}\text{C}$ entre *T. truncatus* y *Z. californianus* podría sugerir que en algunas temporadas ambas especies comparten áreas de alimentación pero de diferente nivel trófico o que aunque la fuente de C es común para ambas especies el metabolismo de ambas especies origina las diferencias en el $\delta^{15}\text{N}$.

La señal de $\delta^{15}\text{N}$ en *Z. californianus* fue mayor (hasta 2 ‰) con respecto a la señal isotópica del delfín nariz de botella *T. truncatus* (Figura 27), generando diferencias estadísticas (Mann-Whitney $\alpha=0.05$) en todos los casos comparados (Tabla 9) lo cual resalta la característica de depredador tope de *Z. californianus* en el área. Es importante resaltar que ambos mamíferos marinos presentaron un decremento en la señal de $\delta^{15}\text{N}$ durante la temporada de Marzo de 2007 aunque solo *Z. californianus* presentó diferencias estadísticas. Para ambos casos las desviaciones estándar de ambos isótopos fueron mayores en Noviembre comparado con Marzo, lo cual podría indicar una mayor dispersión en las fuentes de C y N.

Tabla 9. Prueba de estadística de Mann-Whitney ($\alpha=0.05$) realizada a los depredadores tope varados en la zona de estudio.

$\delta^{13}\text{C}$								
	T. trun Mar 06	T. trun Nov 06	T. trun Mar 07	T. trun Nov 07	Z. cal Mar 06	Z. cal Nov 06	Z. cal Mar 07	Z. cal Nov 07
T. trun Mar 06		0.852	ns	ns	ns	ns	ns	ns
T. trun Nov 06			ns	ns	ns	ns	ns	ns
T. trun Mar 07				ns	ns	ns	0.005	ns
T. trun Nov 07					ns	ns	ns	ns
Z. cal Mar 06						ns	ns	ns
Z. cal Nov 06							0.01	ns
Z. cal Mar 07								ns
Z. cal Nov 07								
$\delta^{15}\text{N}$								
	T. trun Mar 06	T. trun Nov 06	T. trun Mar 07	T. trun Nov 07	Z. cal Mar 06	Z. cal Nov 06	Z. cal Mar 07	Z. cal Nov 07
T. trun Mar 06		ns	Ns	ns	0.010	0.010	0.002	0.002
T. trun Nov 06			ns	ns	0.004	0.004	0.001	0.001
T. trun Mar 07				ns	0.004	0.004	0.001	0.001
T. trun Nov 07					0.029	0.029	0.010	0.010
Z. cal Mar 06						ns	0.03	ns
Z. cal Nov 06							ns	ns
Z. cal Mar 07								ns
Z. cal Nov 07								

8.4.4 Señal isotópica de nitratos ($\delta^{15}\text{NO}_3^-$)

Dada la complejidad de la técnica de determinación de la señal isotópica de N en los nitratos, su obtención se vio reducida a tan solo cuatro muestras. A pesar de ello se resalta la elevada señal de los nitratos en la zona de muestreo, además de mostrar tendencias con la profundidad y en relación con la proximidad a la costa (Figura 28). El valor de 6 ‰ corresponde a la muestra tomada a 50 m en la estación 13, el valor de 7.6 ‰ corresponde a la muestra tomada a 100 m en la estación 18, en esta misma estación pero a una profundidad de 150 m se registró una señal de 13.4 ‰. En la estación más oceánica (estación 16) se detectó una señal de 11.4 ‰. El máximo registrado en la estación 18 puede tener explicación en la continua reutilización de los nitratos en la zona eufótica y su progresivo enriquecimiento al ser removido el ^{14}N por los autótrofos.

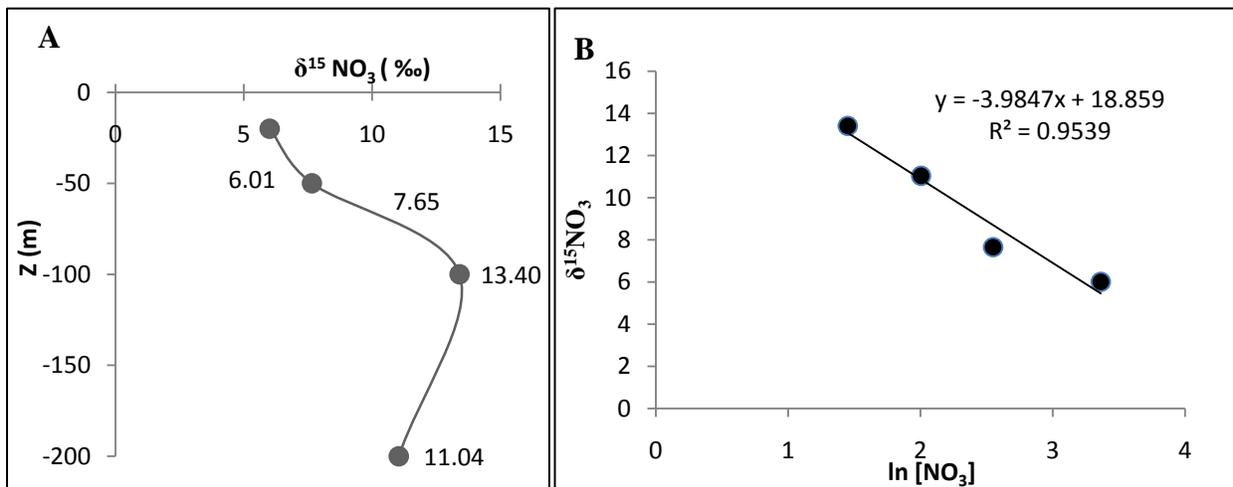


Figura 28. Señal isotópica del NO_3^- en el agua durante 2007 (A) y la relación que guardan con el logaritmo natural de su concentración en el agua ($\ln[\text{NO}_3^-]$) (B).

Siguiendo los trabajos realizados por Sigman et al. (2003; 2005; 2009) y con el fin de determinar si los datos de $\delta^{15}\text{NO}_3^-$ obtenidos eran reales, se procedió a calcular el logaritmo natural de la concentración de NO_3^- para determinar su relación con su señal isotópica (Figura 28, B). La cual sirve para ilustrar la remoción de nutrientes y su progresivo enriquecimiento en $\delta^{15}\text{N}$.

8.4.5 Señal isotópica del material sedimentario.

La señal isotópica del C del material sedimentario no mostro cambios en escala estacional. De forma general se pueden observar un centro de bajos niveles de $\delta^{13}\text{C}$ asociados a la boca de Bahía Magdalena, este centro presenta los valores más positivos (-6 ‰) durante el mes de Marzo de 2006.

Durante Marzo de 2007 este centro de valores más positivos (-10 ‰) se desplazó hacia la entrada de Bahía Almejas. Durante Noviembre de 2007 se pueden observar valores cercanos a los 10 ‰ en la zona de la boca (Figura 29). Es importante notar que valores cercanos a -6 ‰ son poco probables en ambientes como la zona oceánica frente a Bahía Magdalena. Para esta región se podrían esperar valores procedentes de tres fuentes de materia orgánica como son fitoplancton (con valores cercanos a -20 ‰), pastos marinos con valores cercanos a los -11 ‰, o manglar con valores cercanos a -30 ‰ (Granek et al., 2009) . Los valores cercanos a -6 ‰ indican una incompleta disolución del material carbonatado en los sedimentos.

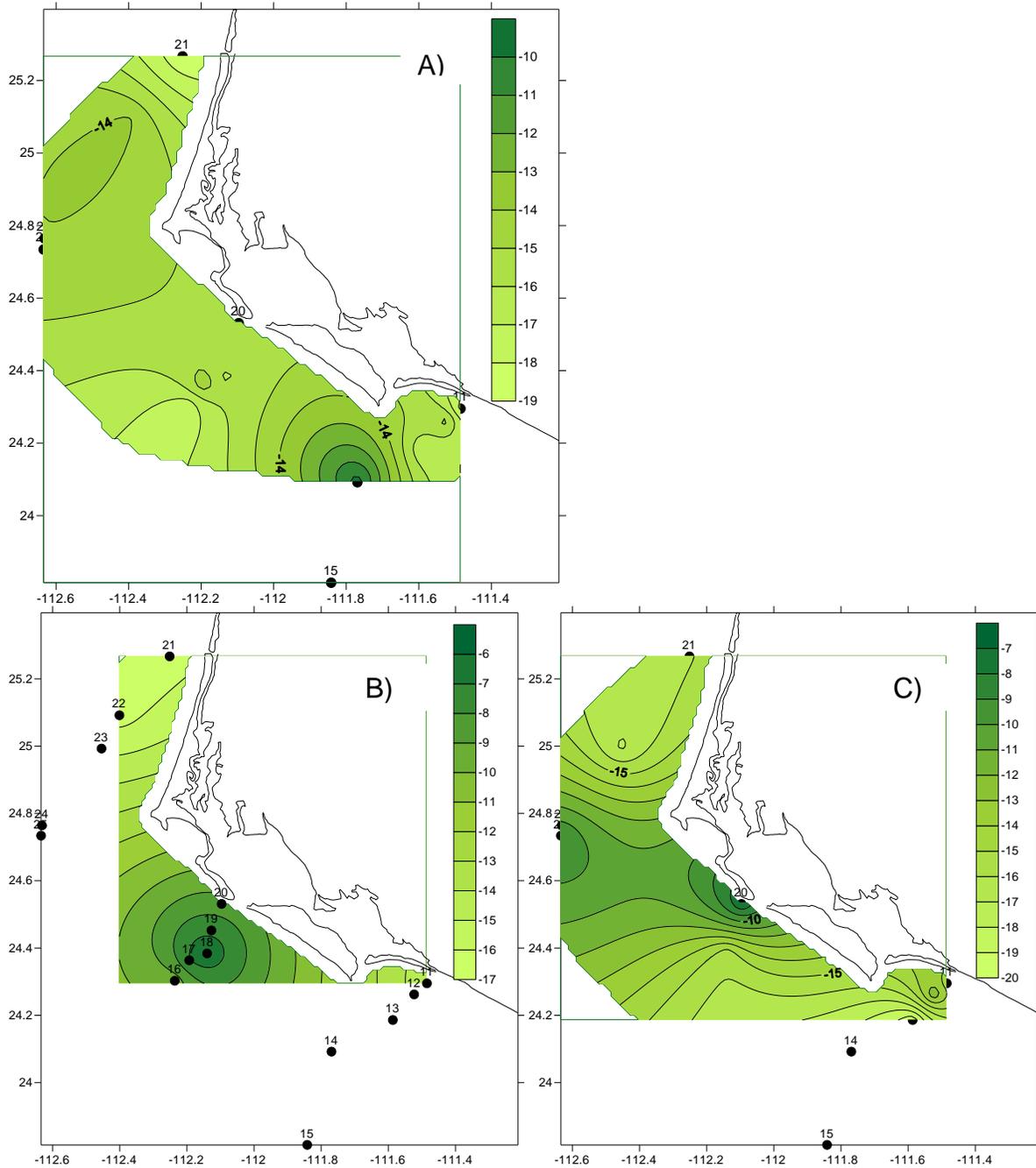


Figura 29. Comportamiento de la señal de $\delta^{13}\text{C}$ en material sedimentario durante A) Marzo de 2006, B) Marzo de 2007 y C) Noviembre de 2007.

La señal isotópica de $\delta^{15}\text{N}$ en el sedimento presentó un patrón de enriquecimiento relacionado con la profundidad y de forma latitudinal, encontrándose los valores más bajos en la zona cercana a la costa y en las estaciones ubicadas al Norte de la boca de Bahía Magdalena (estación 20; 7.5 ‰) mientras que valores más enriquecidos (10 ‰)

se ubicaron a una profundidad mayor a los 150 m y en el grupo ubicado al sur de la boca de Bahía Magdalena (Figura 30).

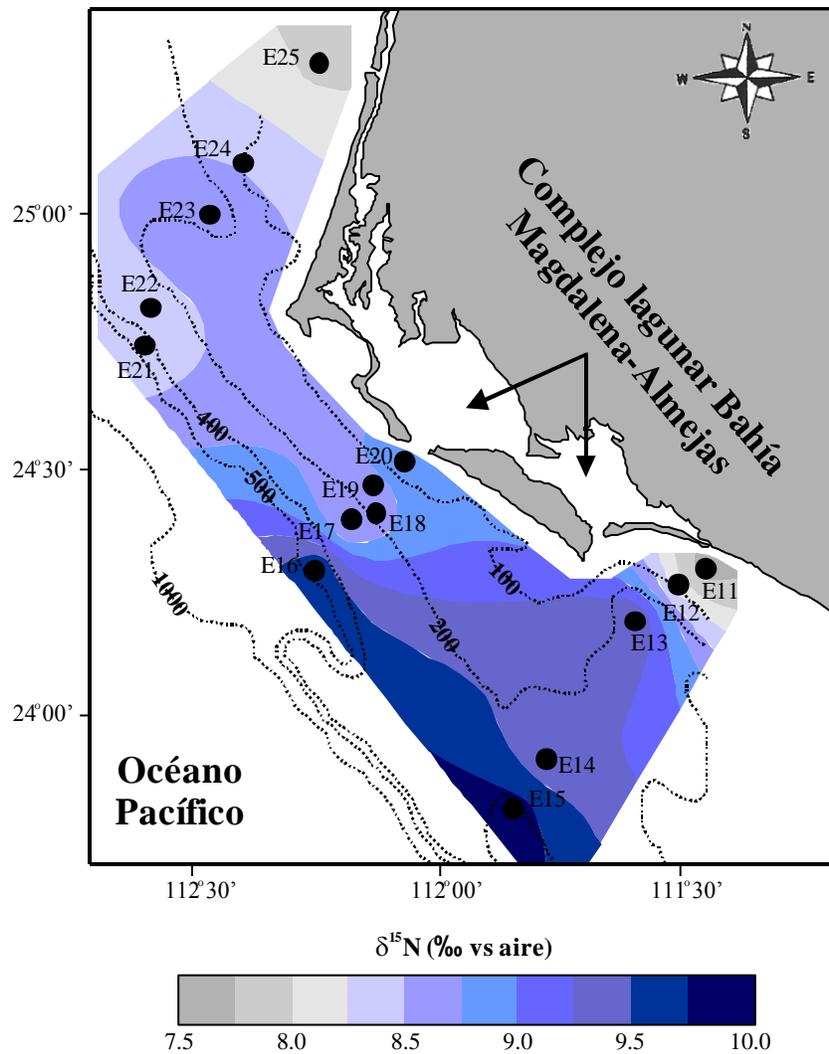


Figura 30. Señal isotópica del material sedimentario colectado a diferentes profundidades en la zona de estudio.

8.4.6 Señal isotópica del material orgánico particulado (MOP).

El material orgánico particulado colectado durante el mes de Marzo de 2007 presentó una desviación estándar difícil de interpretar además de valores isotópicos en $\delta^{15}\text{N}$ poco comunes para zonas costeras. De forma general los valores de $\delta^{13}\text{C}$ son muy parecidos entre las muestras colectadas con una amplitud de malla de 600 μm y

300 μm . Aunque los valores de $\delta^{15}\text{N}$ tienen una dispersión muy alta, se reconoce que el tamaño de partícula colectada tiene una relación lineal con el valor de $\delta^{15}\text{N}$.

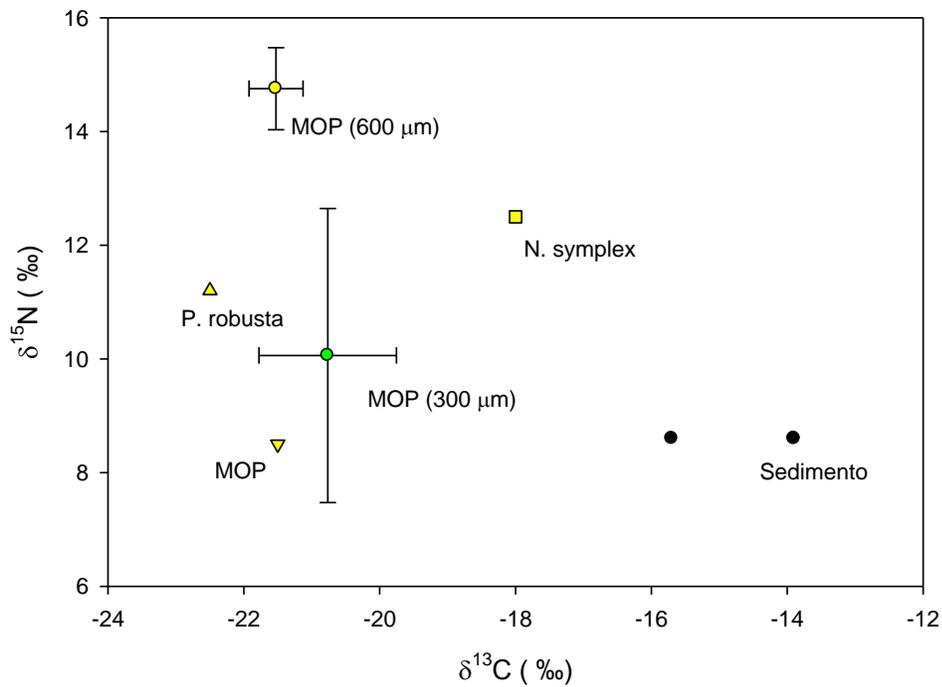


Figura 31. Isotopos estables de C y N en MOP (300 y 600 μm , este estudio), sedimento (este estudio), *N. simplex* (este estudio), MOP reportada por Silverberg et al (2004), copépodos (*P. robusta*) de la tesis de López-Ibarra (2008).

9 DISCUSIONES

9.1 Marco oceanográfico en la ZTTT-BAMA: Marzo de 2006 a Noviembre de 2007

De acuerdo con Durazo (2009) el primer semestre de 2006 estuvo caracterizado por un enfriamiento anómalo del océano en la región central y Norte de la península de Baja California como lo muestran las anomalías de salinidad (Figura 32). Los valores de anomalía de salinidad negativa en el área son explicados por la presencia de agua Subártica (SAW) de mayor salinidad (Figura 32) y menor temperatura. La presencia de esta masa de agua se registró incluso hasta profundidades de 200 m en la porción sur de la red de muestreo de IMECOCAL (Investigaciones Mexicanas de la Corriente de California). En el caso de la región oceánica frente a Bahía Magdalena la presencia de esta masa de agua puede tener relación con la anomalía positiva de temperatura (temperaturas más bajas que el promedio) (Figura 6) lo cual indica la magnitud de este evento. Es probable que el aumento en el transporte de volumen de agua perpendicular a la costa (transporte de Ekman) registrado en esta temporada (Figura 33), originara un periodo de productividad anómalamente alto en el área al compararlo con el promedio calculado de diez años (Figura 7), aunque esta anomalía es probablemente mayor para el mes de Mayo como puede observarse en la Figura 5. El índice del fenómeno del Niño (MEI por siglas en inglés) para esta temporada registro valores negativos, indicando con esto condiciones de “La Niña” (Figura 35). El modelo de PPN mostró regiones entre 700 y 1000 mg C m² dia⁻¹ en la zona costera de Bahía Magdalena para este período de muestreo, lo cual es contrastante con la temporada de Marzo de 2007 en la cual la productividad en región fue hasta un orden de magnitud menor registrando zonas tan bajas como 500 mg C m² dia⁻¹ (Figura 12).

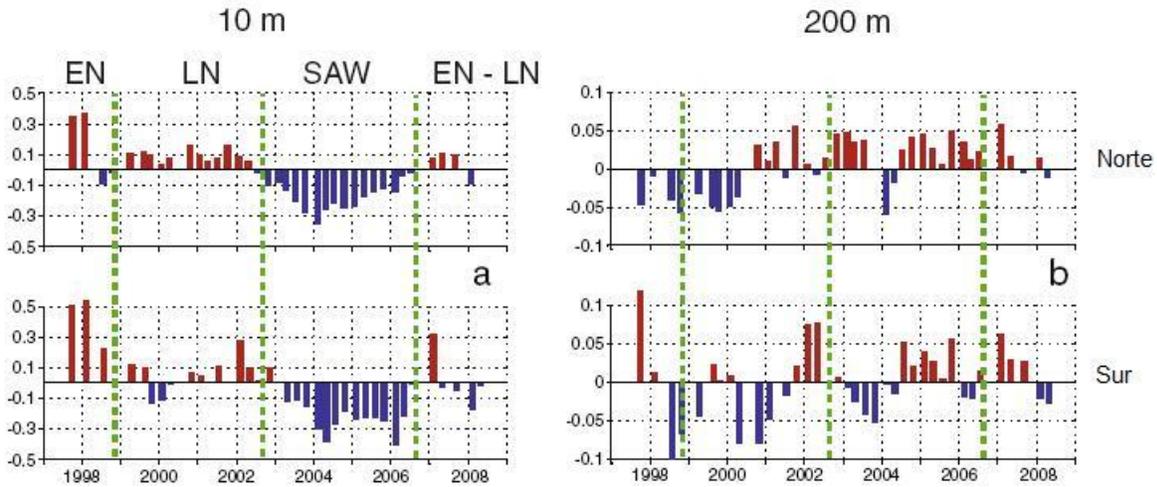


Figura 32. Anomalías de salinidad tomadas de la red de estaciones del IMECOCAL a) corresponde a profundidades de 10 m; b) corresponde a profundidades de 200 m. Los transectos 123 al 133 son considerados como la zona Sur de IMECOCAL. Modificado de Durazo (2009).

Para el segundo semestre del 2006 las anomalías de salinidad presentaron condiciones normales para la región. El índice de Bakun (Bakun, 1990) describe el transporte de agua de la costa hacia el mar abierto lo cual es utilizado como indicador de surgencia. Aunque el índice de Bakun (Figura 33) presenta una disminución en el volumen de agua desplazada desde la costa (surgencia) durante el periodo de Noviembre, el volumen no es cero, lo cual indica que masas de agua prevalecientes en esta temporada, como el agua superficial ecuatorial (ASE) o agua sub superficial tropical (ASsT) son probablemente bombeadas a la superficie. El comportamiento de la concentración de Chla y el modelo de PPN indican una productividad menor en el área en sincronía con aguas tibias y empobrecidas de nutrientes para este segundo semestre de 2006.

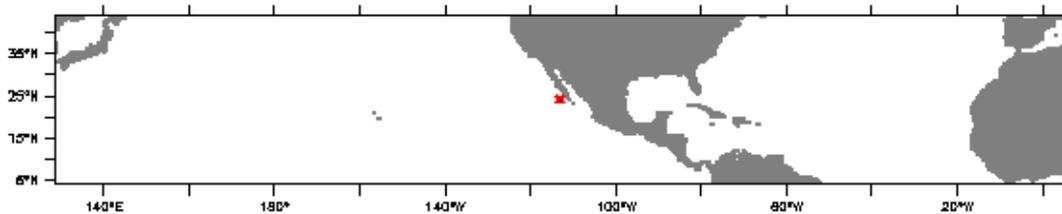
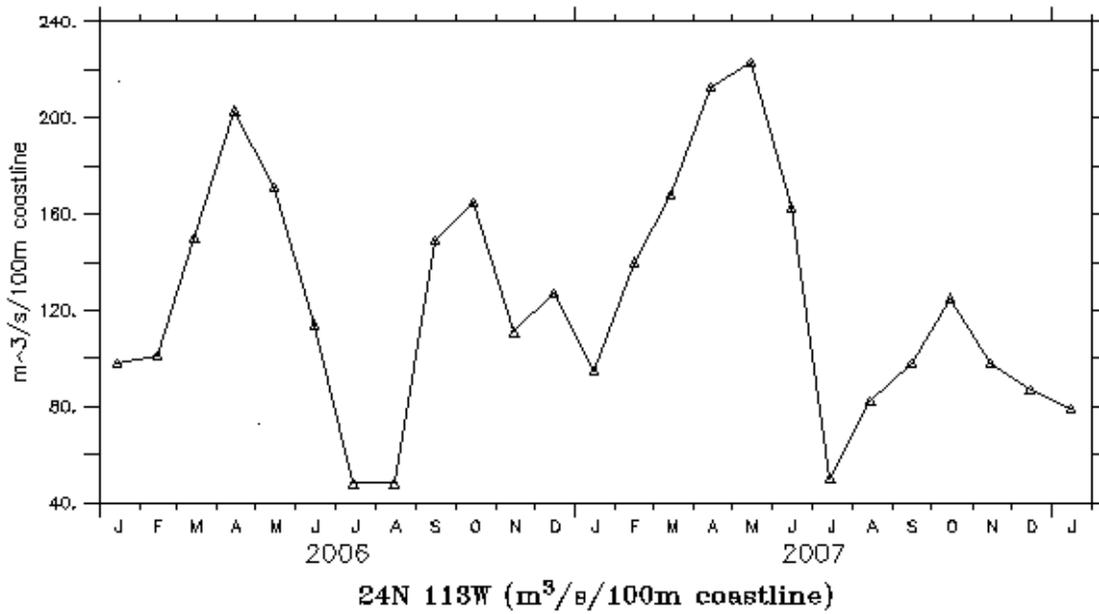


Figura 33. Índice de Bakun de surgencia determinado en el área de estudio elaborada con datos obtenidos de PFEL-NOAA.

Durante el final de 2006 e inicios del 2007 se registró la presencia de aguas más calientes y saladas en la porción sur de la red de muestreo de IMECOCAL. En la figura Figura 34 los diagramas TS detallan la presencia de aguas más calientes y saladas durante el año de 2007, con respecto al año 2006 y al promedio calculado de 1997 a 2007. Los datos de anomalía de salinidad indican que la presencia de aguas tropicales tuvo efecto en la capa superficial y profunda del océano (Figura 32) en la zona sur de la red de muestreo de IMECOCAL (Golfo de Uluoa) que se encuentra tan solo a 100 km de distancia del área de estudio. En la zona de estudio se registraron anomalías positivas de temperatura durante Marzo de 2007 (Figura 6), además de que el diagrama TS de marzo de 2007 muestra la presencia de agua superficial ecuatorial (ASE).

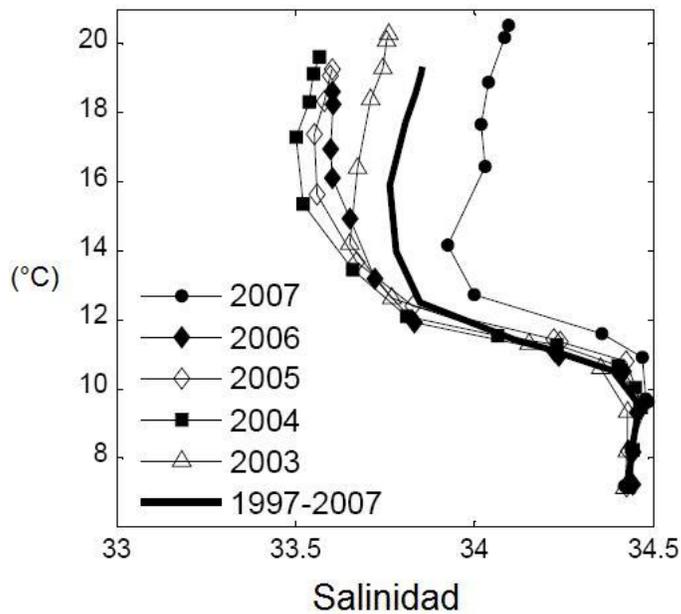


Figura 34. Diagramas de temperatura y salinidad de diferentes campañas de muestreo realizadas en la porción sur de la red de cruceros IMECOCAL. La línea oscura representa el promedio calculado de 1997-2007, en rombos negros el año 2006 y en puntos negros el año de 2007 con mayor temperatura y salinidad.

Como se menciona en la sección de resultados (Descripción oceanográfica) el diagrama de TS de Marzo de 2007 corresponde a la línea 110 del crucero IMECOCAL, aunque esta línea de muestreo está localizada al Norte de la región de muestreo del presente estudio, la presencia de ASE puede ser asumida en una región más al Sur, ya que este fenómeno avanzó de Sur a Norte.

Este período de mayor influencia de las aguas de origen ecuatorial coincide con valores positivos de MEI aunque no de gran magnitud (Figura 35). En un evento de características parecidas durante 2002 Durazo y Baumgartner (2002) señalaron que la razón del aumento en la temperatura y salinidad pudo tener origen en la advección en dirección al polo de aguas tropicales y subtropicales. Al igual que en el periodo de 2002 durante finales de 2006 y principios de 2007 el fenómeno con características de “El Niño” tuvo origen en una advección de aguas del sur lo cual cambio drásticamente las condiciones de enfriamiento que se describieron para el periodo de 2006 y que se venían presentando en el área desde el 2004 y detectables con las anomalías de salinidad (Figura 32).

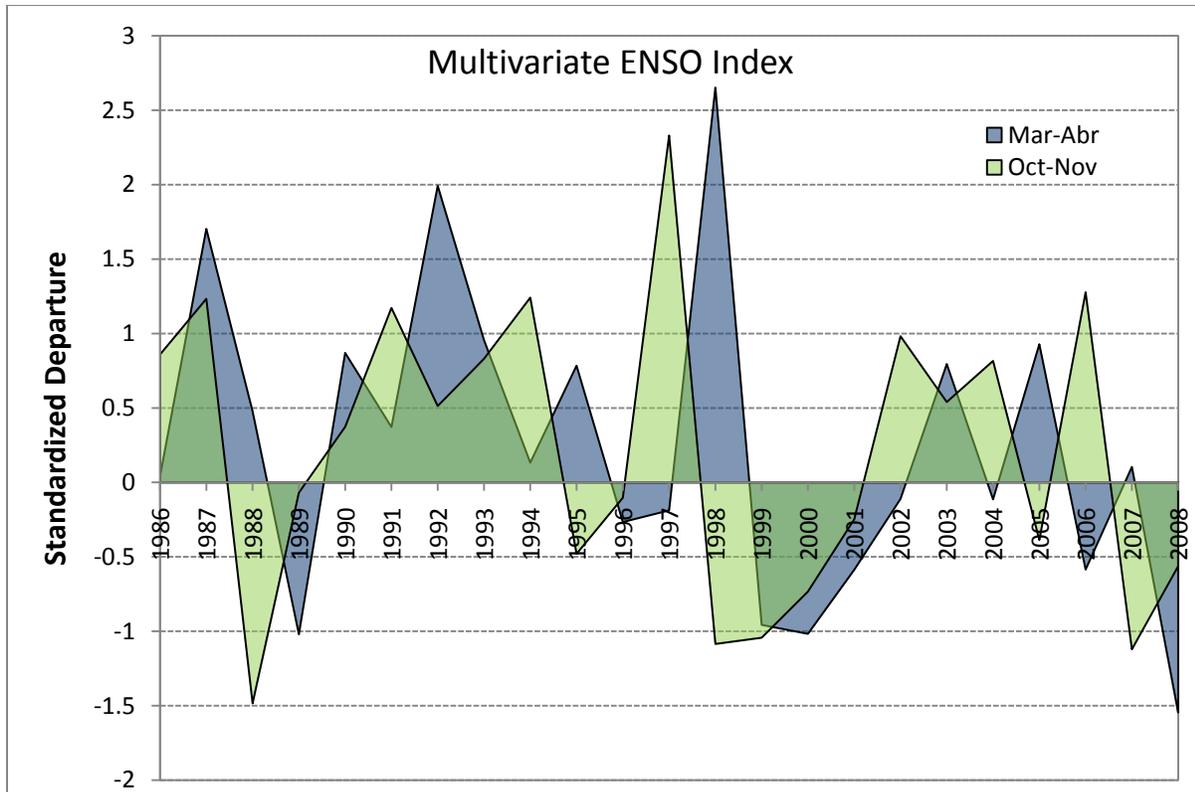


Figura 35. Índice Multivariado del Fenómeno del Niño (MEI). Las anomalías positivas indican la presencia de un fenómeno “El Niño”, mientras que las anomalías negativas indican la presencia del fenómeno “La Niña”.

Durante el periodo 2007 las mayores diferencias en anomalías de salinidad (Figura 32), TSM (Figura 6) y Chla (Figura 7) fueron detectadas. Durante el primer semestre, los eventos de surgencia fueron fuertes y prolongados, lo cual en parte originaron que el desplazamiento de las masas de agua ecuatoriales no fueran detectadas hasta latitudes más allá de los 29 N (línea 119 IMECOCAL). La surgencia de aguas con características empobrecidas en nutrientes (tan bajas como 0.5 M NO_3^-) típicas de las aguas ecuatoriales produjo una baja en la producción primaria en el área originando diferencias hasta de 1 orden de magnitud (Figura 5 y Figura 12).

Si bien es importante recalcar que las anomalías de salinidad son un buen indicador de las transiciones de las masas de agua en tiempo y espacio debido a su estacionalidad, solo en algunos eventos se puede relacionar con el índice del MEI, por ejemplo en la región Norte de Baja California el fenómeno de “El Niño” detectado en la

porción Sur no produjo mayores cambios en la composición de las masas de agua, esto se debió a la debilidad del fenómeno y a la influencia de vientos locales que originaron intensos eventos de surgencia mezclando la capa superficial del océano costero (Durazo, 2009). De hecho para la zona de estudio las anomalías de salinidad (S) y el MEI resultaron congruentes (“El Niño” = anomalías positivas; “La Niña” = anomalías negativas) en la capa superficial y en la de mayor profundidad (200 m). La región Norte de Baja California presentó un intenso período de surgencia que modificó la salinidad al mezclar aguas relativamente frescas y menos saladas (S ~33.7) con aguas sub superficiales de origen ecuatorial. Incluso los eventos de surgencia detectados durante el final de 2006 y principios del 2007 fueron de los más intensos registrados en la década para la parte Norte de Baja California y pudieron frenar la intrusión de las masa de agua provenientes del ecuador (S ~ 34.6 – 34.8) (Durazo, 2009).

La región Norte y la porción Sur de California están fuertemente conectadas en escala temporal. Por un lado la CC dota de aguas ricas en nutrientes que permite el incremento en la PP en la ZTTT durante el primer semestre del año, mientras que la porción Sur de la Península, por medio de la contra Corriente de California transporta aguas de origen tropical a la porción Norte de California cuyo volumen puede aumentar durante eventos “Niño” de gran intensidad (Durazo y Baumgartner, 2002). Recientemente se ha evidenciado un incremento en la acidificación del océano en la plataforma continental del Pacífico Norte (Feely et al., 2008), por lo tanto la cCC puede tener relevancia al trasportar aguas de alto pH desde el Ecuador a la porción Norte en donde la acidificación es mayor.

Los eventos climatológicos de escala mayor, como el fenómeno de “El Niño”, pueden tener importantes repercusiones en el ecosistema. Si a esto se suma la marcada estacionalidad prevaleciente en el área de estudio las consecuencias pueden ser aún mayores ya que algunas especies tienen periodos de reproducción y migración en sincronía con la estacionalidad. El impacto de fenómenos de escala mayor en la composición de fitoplancton (Silverberg et al., 2004) y en el zooplancton (Lavaniegos et al., 2002), además de cambios en la abundancia y reemplazamiento de especies de

importancia de valor comercial es conocido (Gaxiola-Castro et al., 2008), sin embargo los estudios en la frontera sur de la CC son necesarios ya que la propagación de los fenómenos desde latitudes bajas pueden servir para predecir sus impactos en otras regiones de mayor latitud además de informar de su avance desde latitudes bajas.

Hasta la fecha no se ha reportado la respuesta de especies de baja movilidad durante fenómenos climáticos, como el caso de la comunidad de peces demersales o crustáceos bentónicos que en algunos casos pueden llegar a ser una parte clave de la cadena alimenticia.

9.2 Estructura diferencial de la comunidad de peces demersales frente a ZTTT-BAMA y su dinámica trófica

Al realizar el análisis del número de especies y la abundancia de peces demersales colectados durante las cuatro temporadas de muestreo resultó interesante y motivo de discusión resaltar su relación con los forzamientos oceanográficos. De forma general y de acuerdo a lo propuesto por A. R. Wallace (1878) la fauna es más abundante y variada en los trópicos. Considerando que la zona de estudio tiene un fuerte componente ecuatorial durante el segundo semestre del año, lo lógico sería pensar que durante este período un mayor número de especies se encontraran presentes, sin embargo los resultados obtenidos en este estudio señalan lo opuesto para el ambiente demersal, alejado y con características diferentes de la costa somera. De forma consistente el periodo de Marzo presentó un mayor número de especies en comparación con el período de Noviembre, bajo la influencia de aguas cálidas. Una probable respuesta es que el ambiente demersal, al cual las especies capturadas pertenecen, responden de forma diferente a las variaciones ambientales, originando con esto que las especies bentónicas encuentren preferencia por la temporada de Invierno – Primavera. De hecho una de las premisas de este estudio fue obtener organismos de baja movilidad, contrario a especies de ambiente pelágico que tienen la característica de desplazarse de acuerdo a sus niveles de confort. Si bien es cierto la composición específica del fitoplancton (Lavaniegos et al., 2002) el zooplancton (Gómez-Gutiérrez et al., 2001; Gómez-Gutiérrez et al., 2007) y pelágicos mayores (Gaxiola-Castro et al., 2008) en la zona de estudio pueden presentar variaciones importantes de acuerdo a la temporada, se encuentra una fuerte influencia de especies tropicales durante el segundo semestre del año. Lo anterior parece no cumplirse para el ambiente demersal ya que dos especies se encontraron dentro de las dominantes en las cuatro temporadas (*C. xanthostigma* y *S. lucioceps*).

Dos elementos importantes en el estudio de las comunidades fueron tomados en cuenta para determinar la influencia del ambiente en la distribución de las especies en la ZTTT-BAMA: el número de especies y su abundancia.

Las especies con una mayor probabilidad de ser encontradas en la captura fueron *S. lucioiceps* durante el 2006 y *C. xanthostigma* durante el 2007. A pesar de la elevada ocurrencia de estas dos especies el índice de Simpson (Tabla 10) se mantuvo constante y cercano a la diversidad máxima teórica (0, diversidad infinita), indicando que en las cuatro temporadas la diversidad fue alta. El índice de Shannon-Wiener (Krebs, 1994) es utilizado para conocer el grado de “dominancia” o diversidad de la comunidad. Este índice parte de la teoría de la información propuesta por Margalef (1957) en donde se plantea la pregunta ¿Que tan difícil sería predecir la especie del siguiente individuo que se capturara? En ciencias de la comunicación se traduciría como el grado de incertidumbre de un mensaje, es decir al aumentar la diversidad (H) la incertidumbre de un mensaje aumenta. Por ejemplo el mensaje “bbbbbb” no tendría incertidumbre por lo tanto $H = 0$, mientras que para el mensaje “abcdef” la incertidumbre es muy grande y la $H > 0$. Este índice puede alcanzar un valor máximo de 5 individuos bit^{-1} en cuyo caso la diversidad es máxima y se puede catalogar a la comunidad como en estado constante o clímax. Un ejemplo de esta categoría sería el bosque tropical amazónico o la gran barrera arrecifal Australiana. En el caso de nuestros peces demersales el índice de Shannon-Wiener alcanzó un máximo durante el mes de Marzo de 2007, mientras que el mínimo se registró en Noviembre de 2006.

Tabla 10. Índices de diversidad calculados para los periodos de muestreo en la ZTTT-BAMA.

Índice	Marzo 2006	Noviembre 2006	Marzo 2007	Noviembre 2007
Simpson	0.83	0.83	0.91	0.85
Shannon – Wiener (bits ind^{-1})	3.29	3.05	3.94	3.11
Margalef	4.29	3.39	4.98	2.33

* El índice de Margalef al igual que el índice de Shannon–Wiener da un valor de 5 a una comunidad con una biodiversidad máxima.

El índice de Margalef intenta medir el orden del sistema (Margalef, 1957) incorporando el número de especies y el número de organismos de cada especie en una distribución ajena a las hipotéticas como la logarítmica normal. De forma general

este índice da una visión rápida del estado de la comunidad. Para el caso de la comunidad de peces demersales de la ZTTT el índice de Margalef, al igual que los otros dos estimados, registró su valor más alto durante Marzo de 2007 mientras que el más bajo se registró en Noviembre de 2007.

Con el fin de determinar cuál de los tres índices representa mejor la variabilidad oceanográfica de la zona de estudio, se realizó un análisis de factor de correlación. El factor 1 estuvo compuesto por la TSM que explico el 84 % de la varianza, mientras que el factor 2 estuvo compuesto por la anomalía de salinidad, Índice de Simpson e Índice de Shannon, los cuales en conjunto explicaron el 16 % de la varianza (Figura 36). Los resultados de este análisis sugieren que los parámetros físicos utilizados para este análisis son coherentes, ya que la temperatura superficial del mar (TSM) se encuentra en relación inversamente proporcional con el índice de Bakun, el índice del fenómeno de “El Niño” (MEI) y con la concentración de Chla, mientras que se encuentra en relación directa con las anomalías de salinidad (a 10 m, Figura 36). Aunque, como se describió anteriormente, el MEI y la TSM no guardaron la relación esperada debido al enfriamiento de la capa superficial del mar originado por la surgencia anómala registrada en Marzo de 2007. Lo esperado sería que un aumento en la TSM produjera un incremento en el MEI y viceversa.

En relación con los índices ecológicos, el índice de Margalef mostró una relación inversamente proporcional con la TSM, es decir a menor TSM el índice de Margalef aumenta indicando un aumento en la diversidad de especies. Los índices de Simpson (Simpson, 1949) y Shannon–Wiener se relacionan en forma directa con las anomalías de salinidad, pero esto es un resultado ambiguo de la prueba ya que no indica si se relaciona con anomalías positivas o negativas; en todo caso ambas anomalías produjeron un incremento en el índice como en el caso de las anomalías positivas de Marzo de 2007 y anomalías negativas en Marzo de 2006. Sin embargo estos dos índices se relacionan de forma indirecta con la TSM en el Factor 1 que explica el 83.62 % de la varianza y en menor grado (16.08 %, Factor 1) con el MEI la concentración de Chla (Figura 36).

Los resultados muestran que la diversidad en la comunidad de peces demersales de la ZTTT es mayor durante la temporada de Marzo en comparación con lo obtenido durante Noviembre. El fenómeno del “Niño” moderado registrado en Marzo de 2007 produjo un efecto positivo en la diversidad, lo cual fue registrado por los tres índices utilizados para esta comparación. Sin embargo en condiciones del “Niño” más severas, como las registradas par 1997-1998, la riqueza específica íctica aumenta dramáticamente mientras que la biomasa se desploma significativamente (Balart et al., 2002).

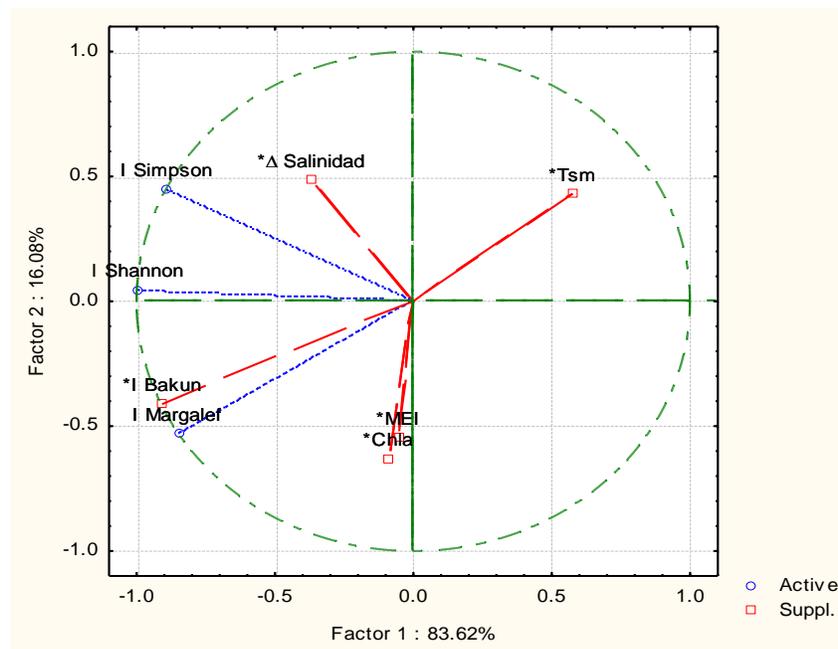


Figura 36. Prueba de factor realizada a los índices ecológicos y las variables ambientales.

Es claro que la composición y abundancia específica de la comunidad de peces demersales responde a la temporalidad de la ZTTT. En este periodo analizado la temporada más productiva presentó un mayor número de especies en el área, sin embargo es necesario responder si el incremento en la riqueza específica guarda relación con la dinámica trófica de las especies.

Es probable que los factores ambientales estén influyendo en la dinámica trófica de las especies y por lo tanto en su distribución temporal.

El análisis de la dieta de los peces capturados mostró patrones estacionales y relacionados con la productividad de la zona de estudio. En primera instancia el porcentaje de especies con contenido estomacal se mantuvo alrededor del 30 %, encontrándose un mínimo de 15 % durante el mes de Marzo 2007 (Figura 13) Los resultados indican que la dieta de los peces demersales tiene un fuerte componente bentónico al menos en el primer trimestre del año y que los hábitos de algunos de ellos cambian drásticamente al final del año. El elenco de la dieta de los peces demersales capturados también presenta una alta dinámica. Por un lado en las temporadas de mayor productividad la presencia de *P. planipes* es mayor que en el caso de la época de menor productividad (Noviembre). Algunas especies además cambiaron drásticamente de preferencia alimentaria, como en el caso de *C. xanthostigma*, especie que durante el muestreo de Marzo de 2006 presentó una alta incidencia de *P. planipes* (60 %IRI), cambiando sus preferencias a poliquetos durante Noviembre de 2006 (> 40 %IRI), para alimentarse predominantemente de eufausidos en Marzo de 2007 y casi exclusivamente de este mismo elemento en Noviembre de 2007 (Figura 14). A pesar de la versatilidad en los hábitos alimentarios el grueso de las especies (98 %) registró un Índice de Levin menor a 0.5. (Figura 25) lo cual sugiere hábitos de especialistas o una amplitud de nicho trófico reducida, si el supuesto de este índice se cumpliera.

Debido a la alta variabilidad en la producción primaria registrada en el área, la estrategia especialista resulta interesante, ya que se podría pensar en una fuerte competencia en momentos en los cuales la producción es baja mientras que las interacciones interespecíficas podrían disminuir en momentos en los cuales la producción es mayor, como el caso de Marzo de 2006. Esto sugiere que en el ambiente demersal la productividad primaria no tiene una influencia directa y que el sustento de la cadena trófica este dirigido a la vía del detritus.

Para visualizar la relación de competencia entre las especies se realizaron análisis de agrupamiento (cluster) con los datos de %IRI durante las cuatro temporadas. Durante la temporada de Marzo de 2006 hubo una fuerte interacción específica entre *P. simillimus*, *S. lucioiceps* y *D. labarum* (índice de Morisita > 0.95 ver anexo). Estas tres especies ícticas se alimentaron casi exclusivamente de los pequeños crustáceos

planctónicos de la familia Euphausiidae, y corresponden también a las especies con mejor capacidad para desplazarse en la columna de agua (Figura 37).

A otro nivel menor de asociación se encontraron *P. albirostris* y *C. xanthostigma* (Figura 37), especies que compartieron la incidencia de langostilla, *P. planipes*, y de especies de la familia Euphausiidae, en su mayoría registrando un índice de Morisita ~ 0.2 (ver anexo). Para el caso de *C. cephalus*, *K. averruncus*, y *H. stomata* la agrupación (Figura 37) estuvo relacionada con la presencia de *P. planipes* (%IRI > 50 , índice de Morisita > 0.43 , ver anexo). La presencia de *P. planipes* en el contenido estomacal de las especies capturadas fue constante en esta temporada, lo que indica la importancia de esta presa en el flujo de energía de la zona. Dos especies no presentaron una asociación directa con el grupo general, *M. angustimanus* y *L. stigmatistium*, (Figura 37) quienes se alimentaron principalmente de peces, aunque de estas dos *L. stigmatistium* presento a *P. planipes* como un elemento secundariamente importante en su dieta (20 %, Figura 21).

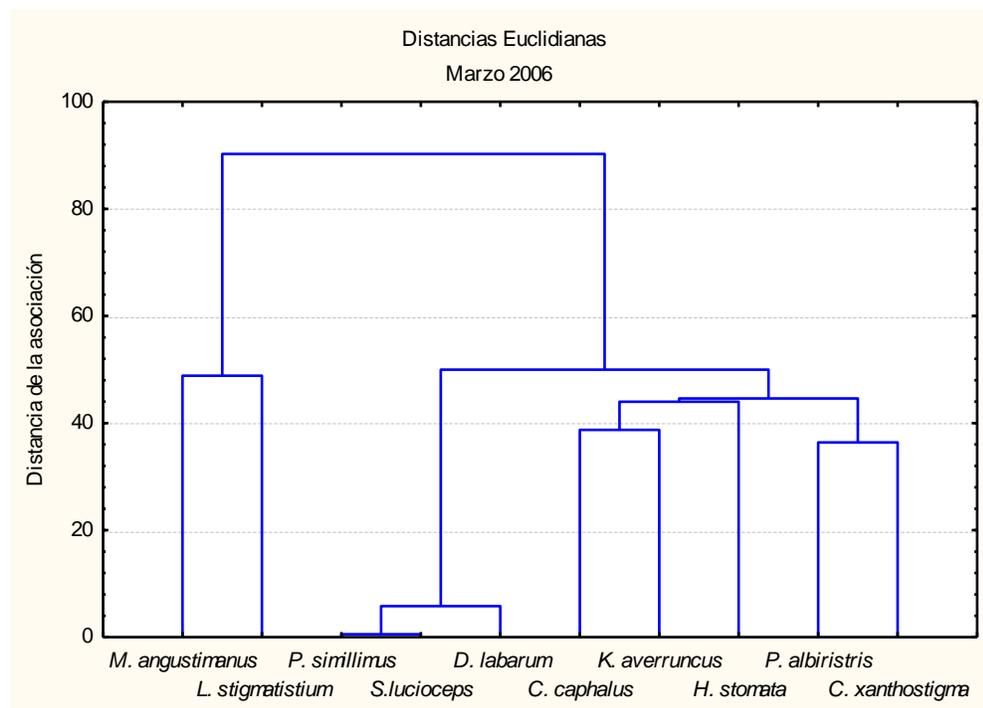


Figura 37. Análisis de cluster realizado con el contenido estomacal (% IRI) de las especies muestreadas en la ZTTT-BAMA, durante Marzo de 20

Con lo anterior se puede determinar que dos elementos (la langostilla y los eufausidos) jugaron un papel importante en la transferencia de energía de las especies capturadas, y que además en esta época considerada altamente productiva del área las interacciones interespecíficas son relevantes.

Durante Noviembre de 2006 las especies que presentaron una mayor similitud fueron *K. averruncus* y *S. luciiceps* (Figura 38), las cuales fueron agrupadas debido a su preferencia por *P. planipes*, y este agrupamiento se reflejó en el índice de Morisita (0.52) lo cual indica una fuerte interacción o un traslape trófico de estas especies. Para el caso de *B. gymnostethus* y *P. albirostris* el agrupamiento (Figura 38) se vio inducido por la presencia de Euphausiidae, elemento dominante en la dieta de *B. gymnostethus* y de *P. albirostris*. El índice de Morisita para este caso indicó un traslape medio (0.48). Para el caso de *H. stomata* el índice de Morisita indica una interacción pobre con otras especies, lo cual está reflejado en el análisis Cluster de la dieta (Figura 38). Esta especie se alimentó casi exclusivamente (%IRI = 80) de *Hemisquilla californiensis*, elemento que se presentó en la dieta de otras especies pero que no fue dominante. El lenguado *C. xanthostigma* presentó un elenco variado en su dieta sin dejar de ser especialista, alimentándose frecuentemente de poliquetos y otros crustáceos durante esta temporada, contrastando drásticamente con su dieta en Marzo de 2006 (Figura 14).

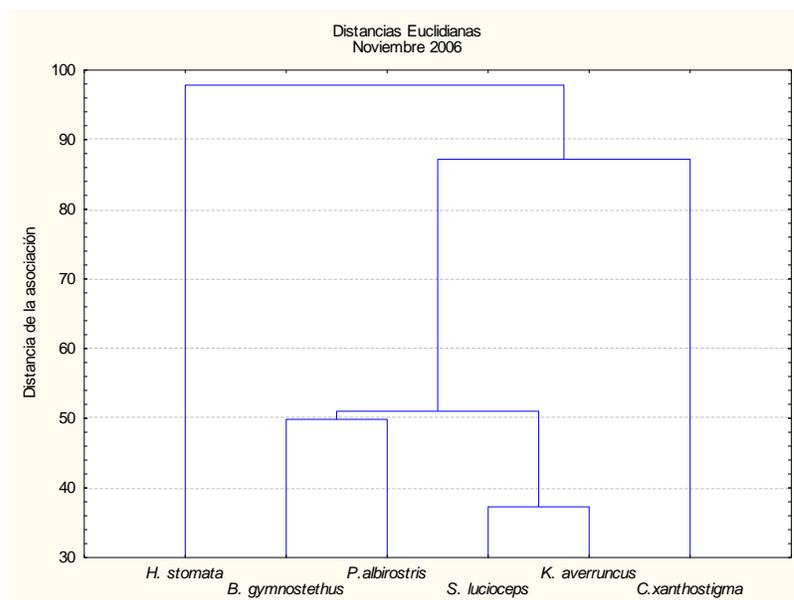


Figura 38. Análisis de cluster realizado con el contenido estomacal (% IRI) de las especies muestreadas en la ZTTT-BAMA, durante Noviembre de 2006.

La temporada de Marzo de 2007 estuvo caracterizada por un incremento en el número de especies capturadas además de un elenco dietético mucho más variado que en 2006. La especie *M. angustimanus* presentó un marcado canibalismo, alimentándose casi en su totalidad de juveniles de su misma especie. Este hecho ya ha sido registrado para esta especie (Balart y Castro-Aguirre, 1995; Balart Páez, 2005) así como para otras especies de *Merluccius* (Inada, 1981; Leonart et al., 1983). La especie *P. albirostris* se alimentó casi completamente de camarones de la familia Processidae (%IRI > 90), *C. affinis* de forma dominante del isópodos del género *Iliacantha sp.*, la *cabrilla* *P. maculatofasciatus* en forma abundante (%IRI = 68) de la medusa *Ethusa sp.* y *Z. elater* en forma abundante (%IRI > 70) de gusanos poliquetos; es decir, estas cinco especies presentaron una baja interacción con el resto de las especies capturadas, por lo que no se agrupan con ellas (Figura 39).

Este análisis además permitió reconocer 3 nodos de agrupación del resto de las especies. El grupo A, dominado por la presencia de *P. planipes* en el contenido estomacal, incluye a las especies *Pristigenys serrula*, *P. nebulifer* y *K. averruncus* con una fuerte interacción interespecífica (índice de Morisita > 0.6). El grupo B anida cuatro especies que comparten decápodos en su dieta, pero baja interacción interespecífica (índice de Morisita < 0.01). En el caso del grupo C, conformado por las especies *C. xanthostigma* y *Synodus lucioceps*, tiene una alta relación interespecífica (índice de Morisita = 0.5) y *Porichthys analis* y *D. labarum* con menor traslape (índice de Morisita < 0.2), aunque todos ellos agrupados por tener en común a los euphausidos como elemento dominante de su dieta (Figura 39).

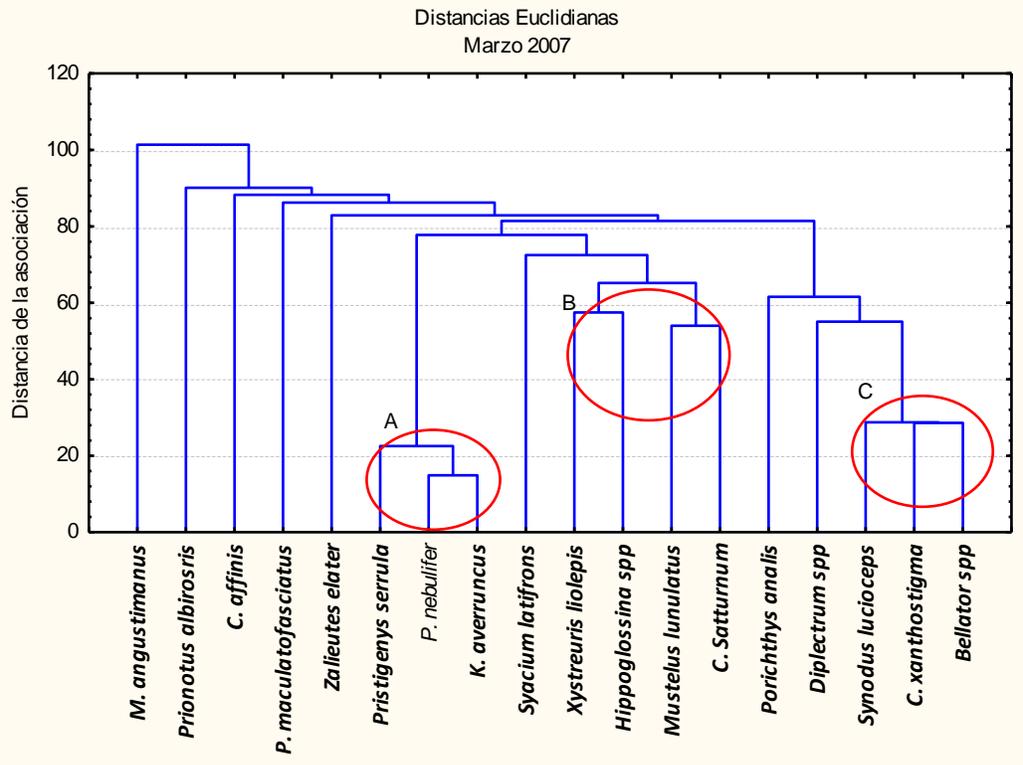


Figura 39. Análisis de cluster realizado con el contenido estomacal (% IRI) de las especies muestreadas en la ZTTT-BAMA, durante Marzo de 2007.

La presencia de *P. planipes* en los estómagos de los peces capturados durante Noviembre 2007 decreció considerablemente. Las interacciones interespecíficas fueron menores que en las temporadas anteriores, con valores del Índice de Morisita menores a 0.2. El análisis de cluster muestra a las especies pobremente asociadas y con distancias de enlace muy grandes, lo cual indica que las especies no compartieron los recursos alimenticios. Se formó un grupo entre *L. stigmatistium*, *Z. elater* y *C. brachysomus* debido a que las tres especies se alimentaron de Euphausiacea, sin embargo este agrupamiento tuvo bajos valores del el índice de Morisita.

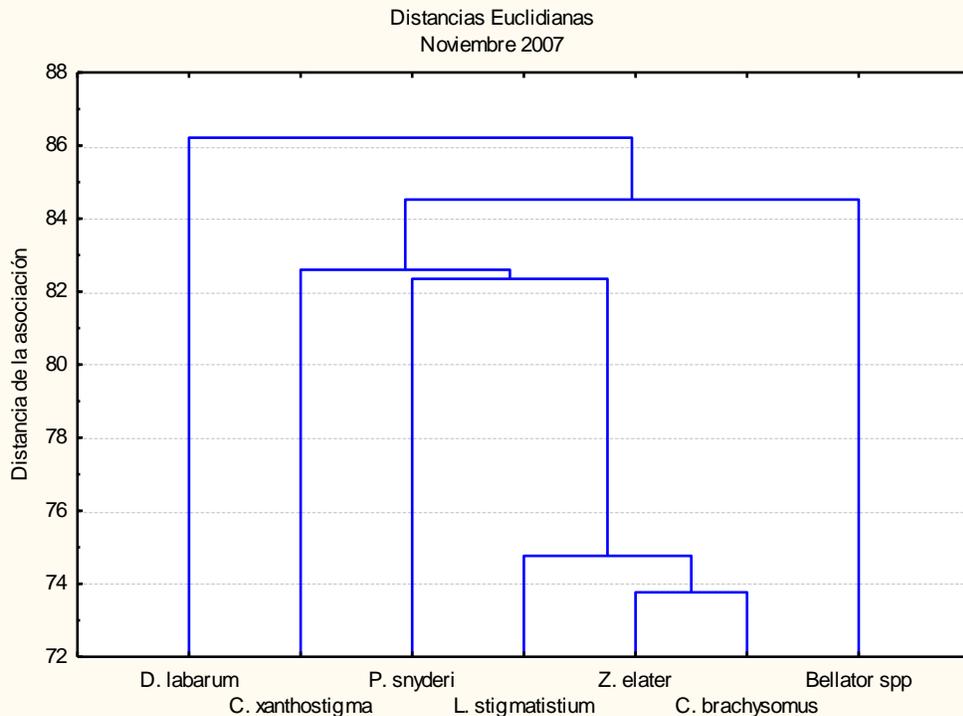


Figura 40. Análisis de cluster realizado con el contenido estomacal (% IRI) de las especies muestreadas en la ZTTT-BAMA, durante Noviembre de 2007.

En general, durante las cuatro temporadas se registró en los estómagos a *P. planipes* y al grupo de los Euphausidos como componente importante en la dieta de la comunidad íctica demersal. De acuerdo con Gómez-Gutiérrez (2001) la comunidad de Euphausidos puede cambiar drásticamente de acuerdo a la temporalidad de la ZTTT. En el caso de los peces demersales colectados en este estudio durante las cuatro temporadas estuvieron dominadas por la presencia de *Nyctiphanes simplex*, además de la presencia de *Acartia clausi* durante la temporada de primavera.

En particular *N. simplex* tiene la capacidad de moverse entre la boca y la zona central de Bahía Magdalena en relación con frentes de salinidad y mareas (Gómez-Gutiérrez et al., 2007), lo cual puede estar funcionando como una ruta de transferencia de energía entre el interior de la Bahía y la zona de la boca. Otro aspecto a resaltar es la fuerte presencia de *P. planipes* durante Marzo de 2006 y la reducción de su importancia durante Noviembre de 2006 asociado a condiciones “El Niño” moderado.

Las interacciones entre las especies de una comunidad y su relación con los factores abióticos son campos de interés que aún tienen mucho por avanzar. En ambientes templados en los cuales la productividad decrece considerablemente en alguna época del año, los cambios en la dinámica trófica y la interacción de las especies han sido documentados parcialmente. Las estrategias generalistas de alimentación en el ambiente pelágico ofrecen ventajas para la distribución de los recursos (Nordström et al., 2009). En el presente estudio los resultados indican una fuerte interacción entre las especies cuando la productividad en el área es mayor y casi nula cuando la producción es baja, como en el caso de la temporada de Noviembre y en el caso particular de Marzo de 2006. Paradojalmente, parece ser que la aparente respuesta especialista en la alimentación está enfocada a la abundancia de los recursos, cuando hay para todos, y lo contrario cuando hay pocos recursos. En una bahía del Mar Báltico, Nordström et al. (2009) encontraron una utilización colectiva de los recursos alimenticios cuando éstos son abundantes para peces epibentónicos y pelágicos, aunque para ese caso los organismos adoptaron estrategias más facultativas. Si bien en este estudio los peces demersales mantuvieron una tendencia especialista, los cambios en la dieta de algunos de ellos como *C. xanthostigma* y *S. lucioceps*, indican una alta plasticidad alimentaria. De forma cierta la única especie que se mantuvo casi 100 % fiel a su dieta mono específica fue *K. averruncus*.

En casos en los cuales las concentraciones de oxígeno en la zona costera son un factor limitante para el desarrollo de las funciones vitales ($[O_2] \leq 2 \text{ mg l}^{-1}$), los crustáceos bentónicos son un grupo resistente y exitoso (Vaquer-Sunyer y Duarte, 2008). En el caso de este estudio un grupo importante de la dieta de los peces demersales estuvo integrado por decápodos y crustáceos de distintos géneros. En particular la langostilla *P. planipes* fue uno de los elementos que constantemente apareció en los contenidos estomacales aunque no siempre de forma dominante, lo cual indica que a pesar de los cambios estacionales es probable que los peces demersales de baja movilidad no se vean drásticamente afectados debido a la disponibilidad y abundancia de recursos.

9.2.1 La langostilla (*Pleuroncodes planipes*) como especie clave en el flujo de energía de peces demersales en la ZTTT-BAMA

La langostilla es un organismo abundante e importante en el flujo de energía de la zona, ya que este crustáceo ha sido encontrado en el contenido estomacal en diversos niveles tróficos incluyendo mamíferos marinos, aves, tortugas y peces (Balart y Castro-Aguirre, 1995; Etnoyer et al., 2006). En el presente estudio su presencia en el contenido estomacal de peces demersales fue constante y en algunos casos dominante. En particular la temporada de Noviembre de 2007 registró un menor contenido de langostillas en los estómagos, aunque de forma general la época de mayor temperatura superficial del mar presentó una menor abundancia de este galathéido en los estómagos, lo cual es una respuesta directa de la disponibilidad de esta especie en el área.

La biomasa de este organismo responde a los forzamientos oceanográficos de temporalidad estacional del área. Durante la temporada fría la biomasa de esta especie es mayor que en meses en los que la temperatura superficial del mar es mayor, además de emprender migraciones batimétricas en respuesta a estos incrementos en temperatura (Aurioles-Gamboa, 1992; Aurioles-Gamboa et al., 1994; Aurioles-Gamboa, 1995; Aurioles-Gamboa y Perez-Flores, 1997). En la Figura 41 se observa una comparación de la biomasa de langostilla obtenida en este estudio y la reportada por Aurioles-Gamboa (Aurioles-Gamboa, 1995) para el área de estudio. Aurioles-Gamboa (Aurioles-Gamboa, 1995) reportó valores de biomasa de hasta 460 mil toneladas para la temporada fría, y 275 mil toneladas para la cálida en toda la costa oeste de Baja California Sur hasta la isóbata de 200 m de profundidad, lo cual habla de la abundancia y potencial como presa para distintos organismos. Los valores obtenidos durante las campañas de muestro de este estudio muestran un decremento anormal en la biomasa de langostilla durante Marzo de 2007, probablemente como resultado de la presencia del fenómeno de “El Niño” moderado (Figura 41).

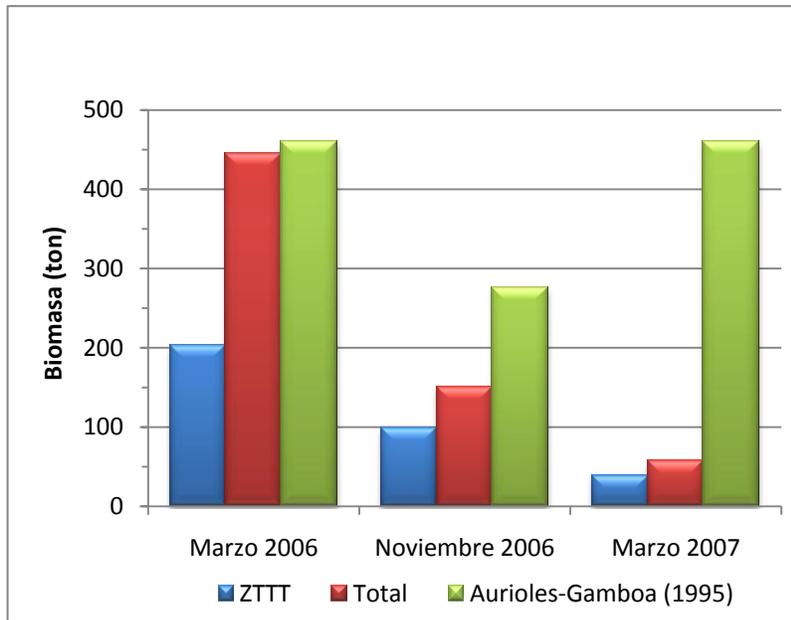


Figura 41. Biomasa de la langostilla (*P. planipes*) durante tres temporadas. La barra verde representa los valores de biomasa reportados por (Auriolles-Gamboa, 1995), en rojo los valores totales estimados durante el periodo de estudio para toda la costa oeste de Baja California Sur, y en azul la biomasa reportada para el área oceánica frontal a Bahía Magdalena durante el periodo de estudio (De Anda et al., 2008; E.F. Balart, Comm pers, 2008).

Durante sus primeras etapas de desarrollo la langostilla habita la zona pelágica en donde su alimentación se conforma de material orgánico particulado en suspensión (incluyendo fito- y zooplancton). Al madurar, los juveniles se relacionan directamente con el sedimento cambiando a una dieta preferentemente constituida por detritus y material orgánico sedimentario (Perez-Flores y Auriolles-Gamboa, 1995; Auriolles-Gamboa y Perez-Flores, 1997). Los resultados del análisis de isótopos estables de N en diferentes tallas de langostilla develan un cambio en la señal isotópica en sincronía con el estado de maduración (D. Auriolles, Comm. Pers., 2009). Con datos de *P. planipes* colectada durante Marzo y Noviembre de 2007 se construyó un modelo exponencial para determinar la talla de mayor cambio en la señal isotópica (Figura 42), encontrándose que después de una talla de cefalotórax de 24 mm los cambios en el $\delta^{15}\text{N}$ de esta especie son mínimos.

De acuerdo a Balart (1996) tallas de cefalotórax comprendidas en un intervalo de 34 a 44 mm son consideradas de hábitos bentónicos, tallas de 22 a 32 mm

representarían langostillas bento – pelágicas, mientras que tallas menores a 22 mm se pueden considerar pelágicas.

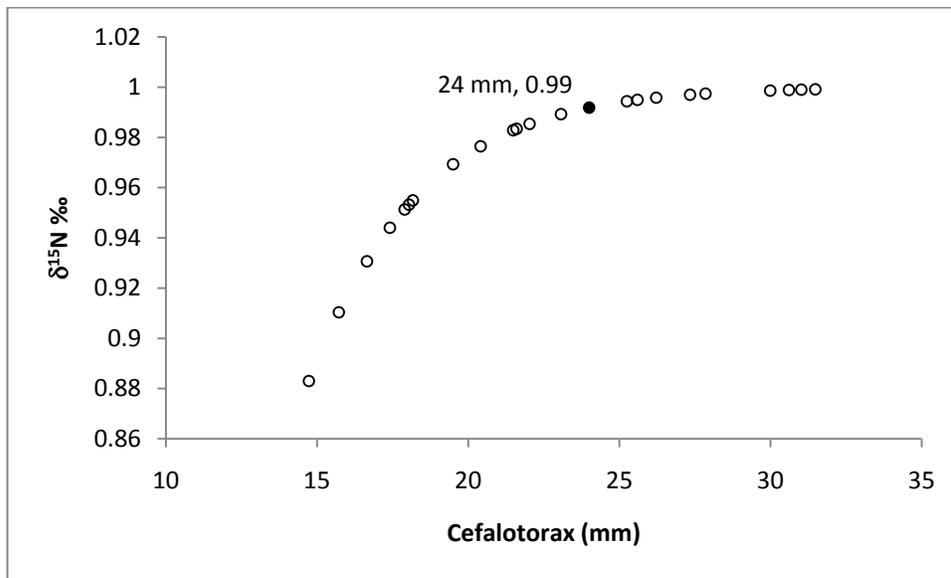


Figura 42. Modelo exponencial del cambio en la señal isotópica de la langostilla en relación con la señal de $\delta^{15}\text{N}$. En negro se aprecia el punto de inflexión.

Con el fin de determinar si las diferencias isotópicas detectadas en los tejidos de músculo de los peces que se alimentan preferentemente de *P. planipes* se deben a diferentes estados de desarrollo de la langostilla o a la transferencia de la señal isotópica del material disuelto al particulado, se consideró necesario realizar mediciones de talla de las langostillas encontradas en los estómagos.

Los estómagos con contenido estomacal preservados de las campañas de muestreo de Marzo y Noviembre de 2006 y Marzo de 2007 se encuentran en un elevado estado de deterioro, aunque fue posible tomar mediciones de algunas de las estructuras más importantes para determinar la talla de *P. planipes*, entre ellas el cefalotórax y las estructuras oculares (Imagen 1). La estructura ocular permaneció en la mayoría de los casos en un buen estado de preservación, por lo cual se decidió medir el diámetro de la estructura ocular y relacionarla con medidas de cefalotórax, y así inferir el tamaño del cefalotórax de la langostilla si solo se cuenta con las estructuras oculares.



Imagen 1. Estructuras medibles en las langostillas presentes en el contenido estomacal (1, cefalotórax; 2, estructura ocular).

Dado el escaso número de presas en buen estado, se convino en determinar tallas en cualquier estómago en buen estado sin importar la especie de proveniencia, y de esta forma se analizaron estómagos de *K. averruncus*, *C. xanthostigma* y *P. albirostris*, especies en las cuales *P. planipes* es un elemento importante del espectro trófico.

i. Mediciones de cefalotórax

Las mediciones de los cefalotórax de las langostillas durante las campañas de Marzo de 2006, Noviembre de 2006 y Marzo de 2007, sugieren que las tallas de langostilla en el área de muestreo fueron distintas. En el caso de Marzo de 2006 se presentaron las tallas más grandes en un intervalo de 17 a 32 mm LC, con un promedio de alrededor de los 25 mm. En el caso de Noviembre de 2006 las tallas de cefalotórax se presentaron en un intervalo de 12.4 a 13.5 mm. Las menores tallas registradas estuvieron presentes en el mes de Marzo de 2007, temporada en la cual el cefalotórax de las langostillas se mantuvo de forma general en los 10 mm.

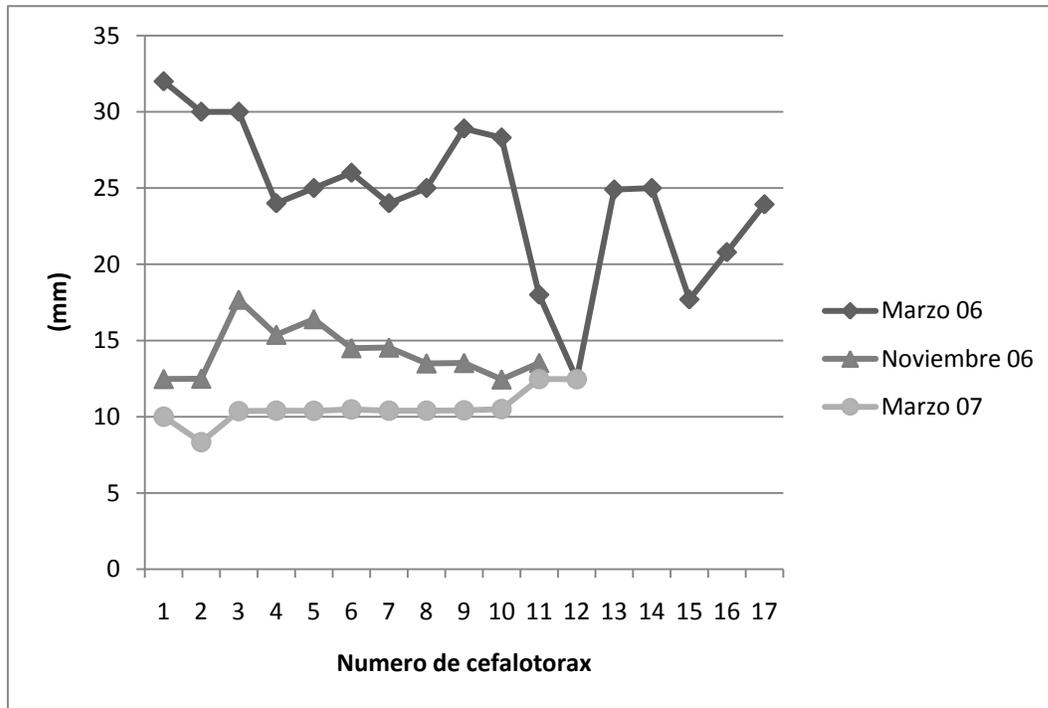


Figura 43. Tallas de los cefalotórax medidos en langostillas contenidas en los estómagos de diferentes especies durante tres temporadas distintas.

ii. Relación de cefalotórax y estructura ocular

Con el fin de determinar si existe una relación entre el cefalotórax y las estructuras oculares se analizó un total de 25 pares de datos con los cuales se construyó la Figura 44 de la cual se determinó su relación lineal y exponencial encontrándose una R^2 de 0.89 en el caso de la relación lineal sin tomar en cuenta dos puntos que se consideraron atípicos (Figura 44) y una R^2 de 0.62 para el caso de la relación exponencial. Aunque la relación exponencial produjo una mejor relación entre las dos variables considerando todo el conjunto de datos, este modelo no fue tomado en cuenta para estimar la talla del cefalotórax ya que se asumiría que la talla del ojo crece de manera desproporcional con respecto al cuerpo de la langostilla.

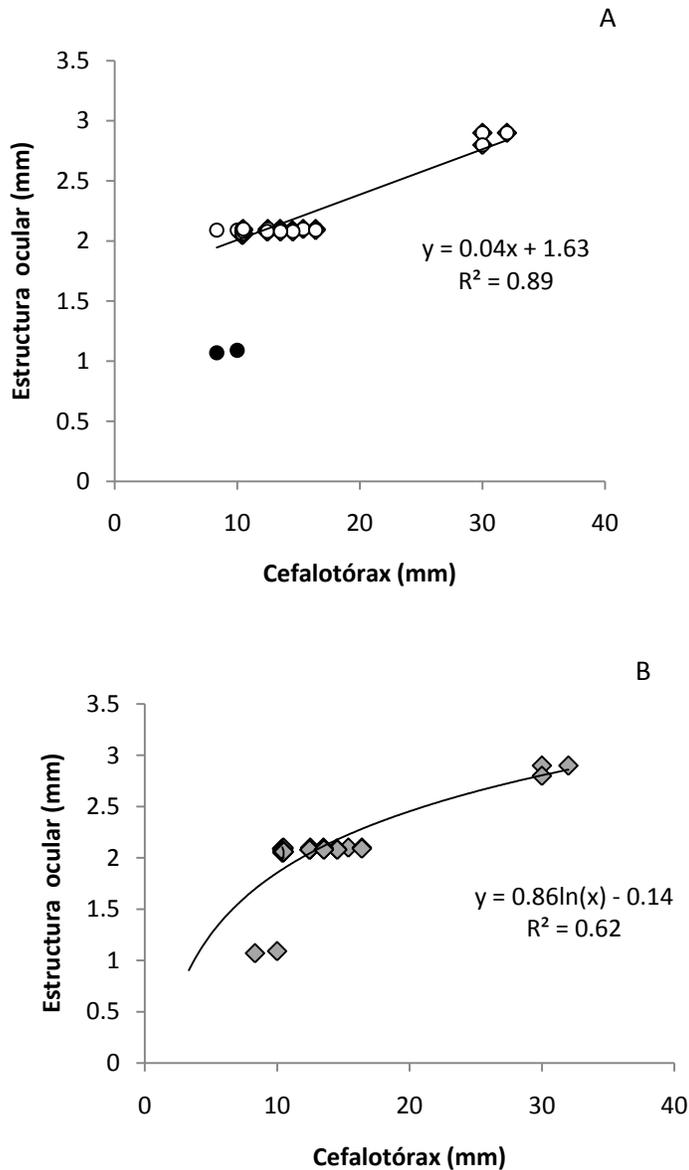


Figura 44. Relación lineal (A) y exponencial (B) entre longitud del cefalotórax y diámetro ocular en 25 pares de datos de langostillas en contenido estomacal. Los puntos negros en la relación lineal no fueron considerados para el cálculo de R^2 .

Al despejar la pendiente de la ecuación (Figura 44 A) utilizando Y como las mediciones de las estructuras oculares se obtienen las mismas tendencias registradas con las mediciones de cefalotórax (50 mediciones) mostradas en la Figura 43. Lo cual indica la validación de la relación entre la medición de la estructura ocular con el cefalotórax y la marcada diferencia entre Marzo de 2006 y Marzo de 2007.

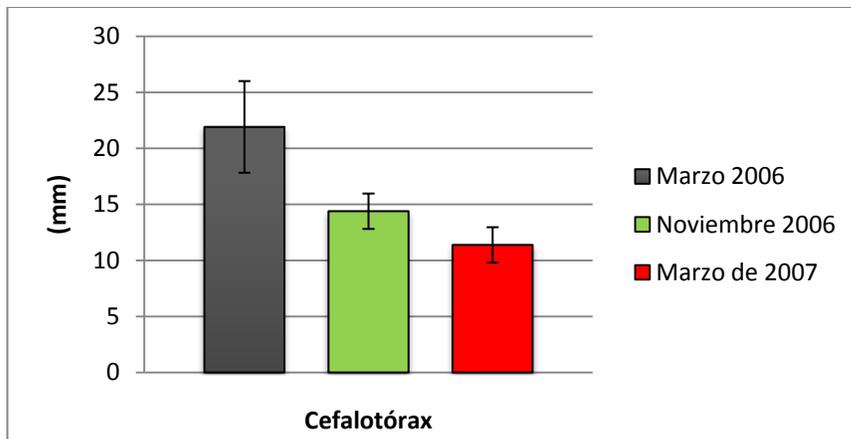


Figura 45. Promedio de las tallas de cefalotórax (\pm DS) de langostilla, *P. planipes*, en los estómagos de los peces demersales incluyendo datos retrocalculados a partir de la estructura ocular. (Marzo de 2006 n= 28, Noviembre de 2006 n =34, Noviembre de 2006 n = 37).

De acuerdo a los resultados obtenidos de las mediciones de *P. planipes* en los estómagos de especies de peces demersales que se alimentan de este crustáceo, durante la temporada de Marzo de 2006 la alimentación estuvo conformada por las tallas bento – pelágicas, mientras que para el período de Noviembre de 2006 y Marzo de 2007 la alimentación se conformó de organismos pelágicos. Es importante recalcar que *P. planipes* en estado pelágico realiza migraciones verticales circadianas en la columna de agua, moviéndose durante la noche hacia la superficie y hacia el fondo durante el día (Boyd, 1967), momento en el cual es presa más accesible para diversos organismo del ambiente demersal y bentónico.

Otro hallazgo es la presencia constante de *P. planipes* y de *Euphausia sp.* en el contenido estomacal de peces demersales. Los peces que registraron constantemente estos elementos en su contenido estomacal y en forma dominante son aquellas que mostraron diferencias más conspicuas en el $\delta^{15}\text{N}$. Lo anterior sugiere que cuando las especies presentan una alta fidelidad a algún elemento dietético particular el tiempo de integración para su señal isotópica en sus tejidos fue suficiente para registrar cambios estadísticos. La señal de $\delta^{15}\text{N}$ en *P. planipes* (Figura 46) presentó diferencias significativas entre Marzo de 2006 y Marzo de 2007 (Mann-Whitney $_{\alpha} = 0.05$), lo cual

indica que este crustáceo bentónico registra la variabilidad isotópica de la ZTTT-BAMA y la transfiere a las especies que depredan sobre ellas.

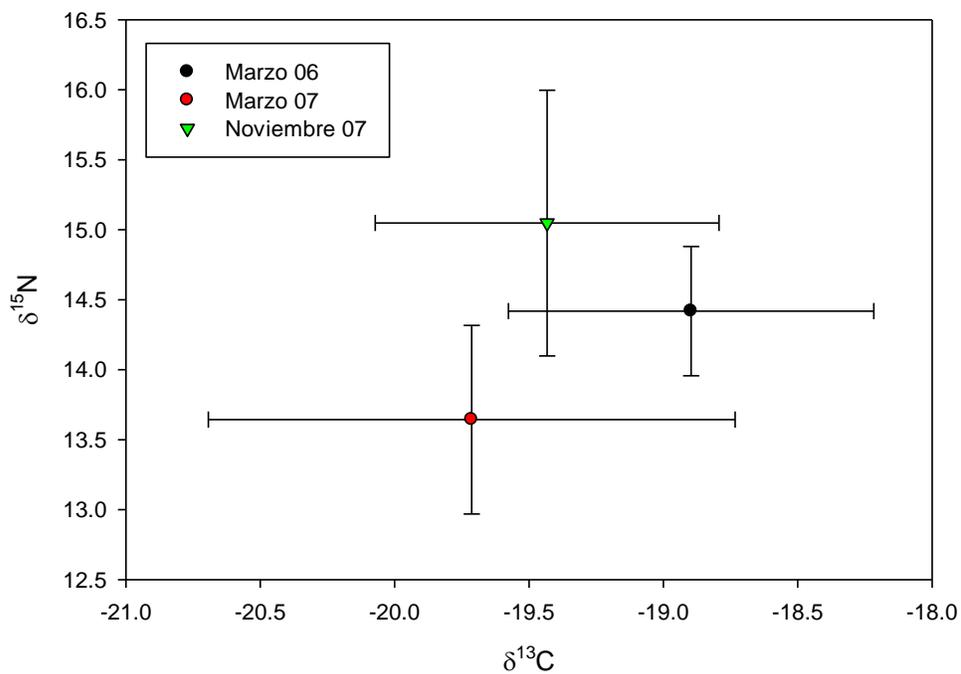


Figura 46. Isotopos estables de C y N en músculo de *P. planipes* durante tres temporadas en la región oceánica frontal a Bahía Magdalena, B.C.S.

9.3 El efecto del fenómeno de “El Niño” moderado en el contenido estomacal y la señal isotópica de las especies analizadas

El fenómeno de “El Niño” (FEN) es definido como un sistema de interacciones entre el Océano Pacífico ecuatorial y la atmósfera. Este fenómeno está caracterizado por un calentamiento anómalo de la superficie del océano que ocurren inicialmente en las costas de Ecuador y Perú a finales de año, de ahí su relación y su nombre (alusión al “Niño” Jesús). Este fenómeno está asociado con cambios en la presión de viento y patrones de precipitación. Bajo condiciones normales la superficie del océano presenta temperatura mayor en el Pacífico oeste, así como también una alta precipitación. El viento de la superficie del océano viaja de este a oeste a lo largo del Pacífico en un patrón de viento conocido como “easterlies”. Bajo condiciones de FEN los “easterlies” se debilitan, aguas relativamente más cálidas son detectadas en la parte central de América, y la zona de alta precipitación migra hacia el Pacífico Central (Rasmusson, 1984).

En la porción que corresponde al sistema de la Corriente de California el FEN está caracterizado por el debilitamiento de la CC, una elevación en el nivel medio del mar, un incremento en el transporte de la cCC y un incremento en la temperatura superficial del mar (Lluch-Belda et al., 2005). El efecto del FEN en el ecosistema ha sido documentado por diversos autores aunque en particular para la zona de estudio resaltan las revisiones de Arntz et al. (2006) y Lluch-Belda et al. (2005). En ambos casos se documenta el efecto del FEN en diversas especies, algunas de ellas de importancia comercial y la intrusión de especies de origen Panámico en regiones no documentadas con anterioridad (i.e. Lea y Rosenblatt, 2000; Balart et al., 2002). El efecto del FEN en zonas de surgencia no son aún del todo claras, aunque durante el FEN ocurrido en 1997-1998 se pudo documentar muerte masiva de pelágicos menores y algunos invertebrados en las costas de Baja California, aunque este efecto pudo haber estado relacionado con un evento anómalo de baja concentración de O₂ propiciado tal vez por el efecto de florecimientos de fitoplancton (Arntz et al., 2006).

En algunos casos los efectos del FEN pueden ser positivos e inesperados, durante el evento ocurrido en 1999 en la zona de muestreo del IMECOCAL se detectó una

producción de fitoplancton mayor en la parte central de Baja California en comparación con la región sur de California, lo cual originó que grupos de zooplancton con afinidad por aguas cálidas y de mayor salinidad incrementaran atípicamente sus biomásas (Lavaniegos et al., 2002). Después de este efecto un reporte de California Department of Fish and Game reportó una pesca anormalmente abundante en ese año incluyendo especies tropicales, mientras que la pesquería en BCS declinó hasta en un 40% para el mismo año (Lluch-Belda et al., 2005; Arntz et al., 2006)

El efecto del FEN también ha sido rastreado en trampas de sedimento, encontrándose que durante el pico del evento ocurrido en 1999 la MOP en hundimiento presentó un C:N alto al igual que una señal de $\delta^{15}\text{N}$ de 11.7 ‰, lo cual indica material degradado y una posible advección de aguas con una elevada señal isotópica proveniente del trópico (Silverberg et al., 2004). En el registro sedimentario durante el evento de 1996 fue tan alto como 10 ‰ en la cuenca de San Pedro en el Golfo de California (Altabet et al., 1999).

En el periodo de Marzo de 2007 se presentaron condiciones de FEN moderadas que han sido descritas por Durazo (2009) y relacionadas con otros parámetros físicos en el presente estudio. Lo anterior es relevante en el contexto de este estudio, ya que diversas especies de peces demersales, los mamíferos marinos varados y *P. planipes* colectados durante Marzo de 2006 y 2007 presentaron diferencias en el contenido estomacal y su señal de $\delta^{15}\text{N}$. Es probable que las variaciones en la señal isotópica se deban a variaciones en las fuentes de la dieta más que por la variación en la dieta.

La señal isotópica de un depredador puede variar de forma estacional por múltiples razones:

- i. Un cambio en la dieta del depredador con una señal isotópica distinta
- ii. Variación isotópica en la presa, causada por una variación estacional en su dieta o fisiología.
- iii. Variaciones isotópicas en la dieta de la presa, con una dieta constante tanto del depredador como de la presa (Dalerum y Angerbjörn, 2005).

Por lo anterior es importante tomar en cuenta las variaciones isotópicas de niveles tróficos más bajos a los del analizado en cuestión, además de tomar en cuenta las fuentes probables de variación que afectan la señal isotópica de un organismo, como ecológicas, fisiológicas, bioquímicas y físicas, al intentar interpretar los datos obtenidos.

En particular la diversidad de las especies demersales capturadas incrementó en Marzo de 2007 con respecto a Marzo de 2006, probablemente como respuesta a la invasión de especies tropicales. Las especies con contenido estomacal en ambas temporadas presentaron un incremento en el número de presas durante Marzo de 2007 con respecto a Marzo de 2006 (con excepción de *K. averruncus*), sin embargo la desviación estándar de $\delta^{15}\text{N}$ y $\delta^{13}\text{C}$ que podría indicar una alta diversidad de fuentes de C y N, solo aumentó en dos de las 4 especies analizadas.

La señal de $\delta^{15}\text{N}$ presentó un enriquecimiento mayor durante 2007 en comparación con 2006 en cuatro de las cinco especies presentes en ambas temporadas, incluso presentando diferencias estadísticas en *C. xanthostigma*, *K. averruncus*, *S. lucioceps* (Mann-Whitney $\alpha = 0.05$). En otro caso tanto la langostilla (*P. planipes*), la merluza (*M. angustimanus*) y los mamíferos marinos (*Z. californianus* y *T. truncatus*) presentaron valores de $\delta^{15}\text{N}$ menores durante marzo de 2007 en comparación con los observados en 2006 (Tabla 13), mostrando diferencias significativas (Tabla 5 y Tabla 7).

Los resultados sugieren que la reducción en la biomasa de la langostilla durante Marzo de 2007 fue efecto del FEN moderado, lo cual originó un impacto en la disponibilidad de uno de los elementos comunes en la dieta de los peces demersales de la ZTTT (Figura 41) lo que originó un aumento en el espectro trófico de las especies presentes (Tabla 11). Además las especies que se alimentan tanto de Euphausidos (probablemente *N. simplex*) como de langostilla de forma dominante se vieron enriquecidos en $\delta^{15}\text{N}$, lo cual sugiere que ambos organismos capturaron la señal isotópica a una velocidad que permitió su detección, como sucedió en el caso estudiado por Adams y Sterner (2000) con *Daphnia magna*. Para el caso de la langostilla en la fase pelágico bentónica los datos de las muestras analizadas no

mostraron un enriquecimiento estadísticamente significativo debido a la gran dispersión de los valores. Para el caso de los Eufausidos no hubo colecta.

En el caso de *M. angustimanus* y los mamíferos marinos (*Z. californianus* y *T. truncatus*), debido a sus características de alimentación (piscivora principalmente) la explicación en la reducción de $\delta^{15}\text{N}$ puede tener dos orígenes:

- i. La invasión de especies de peces tropicales acarreados por masas de agua cálida con una señal alta de $\delta^{15}\text{N}$ pero menor a la de la ZTTT.
- ii. La dieta hubiera estado conformada por peces de menor nivel trófico y por lo tanto con una señal menor de $\delta^{15}\text{N}$ (e.g. *S. sagax*).

Tabla 11. Comparación de isotopos estables y presa dominante durante Marzo de 2006 y 2007.

Especie	Numero de ítems en la dieta		Elemento dominante		$\delta^{13}\text{C}$ ± S.D (‰)		$\delta^{15}\text{N}$ ± S.D (‰)	
	0306	0307	0306	0307	0306	0307	0306	0307
<i>C. xanthostigma</i>	6	23	Lang	Euf	-17.78 ± 0.38	-17.4 ± 0.18	16.03 ± 0.24	16.79 ± 0.24
<i>K. averruncus</i>	4	2	Lang	Lang	-18.11 ± 0.6	-17.19 ± 0.43	15.6 ± 0.5	16.5 ± 0.45
<i>S. lucioceps</i>	4	8	Euf	Euf	-18.42 ± 0.64	-17.98 ± 0.29	15.49 ± 0.5	16.75 ± 0.20
<i>H. stomata</i>	7	17	Lang	Larv	-17.90 ± 0.21	-17.68 ± 0.32	16.84 ± 0.43	17.0 ± 0.7
<i>P. albirostris</i>	3	6	Euf	Proc	-18.29 ± 0.26	-18.25 ± 0.75	15.7 ± 0.4	16.4 ± 0.8
<i>M. angustimanus</i>	2	6	Pec	Pec	-18.31 ± 0.3	-18.29 ± 0.30	15.7 ± 0.62	15.24 ± 0.23
<i>P. planipes*</i>	Sin contenido estomacal				-18.9 ± 0.7	-19.7 ± 0.1	14.6 ± 0.6	13.72 ± 0.7
<i>Z. californianus</i>					-16.24 ± 0.4	-16.27 ± 0.57	20.26 ± 0.57	19.1 ± 0.61
<i>T. truncatus</i>					-16.4 ± 0.16	-16.59 ± 0.26	17.8 ± 0.15	16.84 ± 0.8

9.4 Comparación del $\delta^{15}\text{N}$ de tejido animal en el Pacífico Nororiental y en zonas de nitrificación

Dadas las marcadas diferencias en valores de $\delta^{15}\text{NO}_3^-$ entre las zonas de desnitrificación y fijación de N reportadas en la literatura y con el fin de ilustrar su transferencia en la cadena trófica, se realizó una comparación entre datos de $\delta^{15}\text{N}$ de algunos elementos de la cadena trófica en la zona del Pacífico Nororiental y zonas de elevada nitrificación.

Una de las aproximaciones empleada para determinar las zonas del océano en las cuales se llevan a cabo los procesos de nitrificación y desnitrificación es el concepto de N^* . Este trazador describe la producción o el consumo NO_3^- relativo a lo esperado de la remineralización de PO_4^{3-} basado en la estequiometría de Redfield (16:1) (Mahaffey et al., 2005).

La ecuación que describe N^* actualmente (Ecuación 12) fue desarrollada por Gruber y Sarmiento (1997) y es el producto de una extensa colección de datos y el balance estequiométrico entre la nitrificación, desnitrificación y remineralización de la materia orgánica rica en N.

$$N^* = \left(0.87 [\text{NO}_3^-] - 16 [\text{PO}_4^{3-}] + 2.9\right) \mu\text{mol kg}^{-1} \quad \text{Ecuación 12}$$

La fortaleza más grande de N^* es que permite mostrar el balance de las fuentes y sumideros del N fijado para cualquier profundidad que se desee investigar (Figura 47). El análisis de las razones isotópicas es una técnica ampliamente utilizada para investigar la importancia y la contribución de la fijación de N_2 en ambientes marinos. En contraste con el concepto de N^* , en el cual se emplearon una serie de supuestos para su generación, el análisis de razones isotópicas de N puede generar controversia por su interpretación más que por sus resultados.

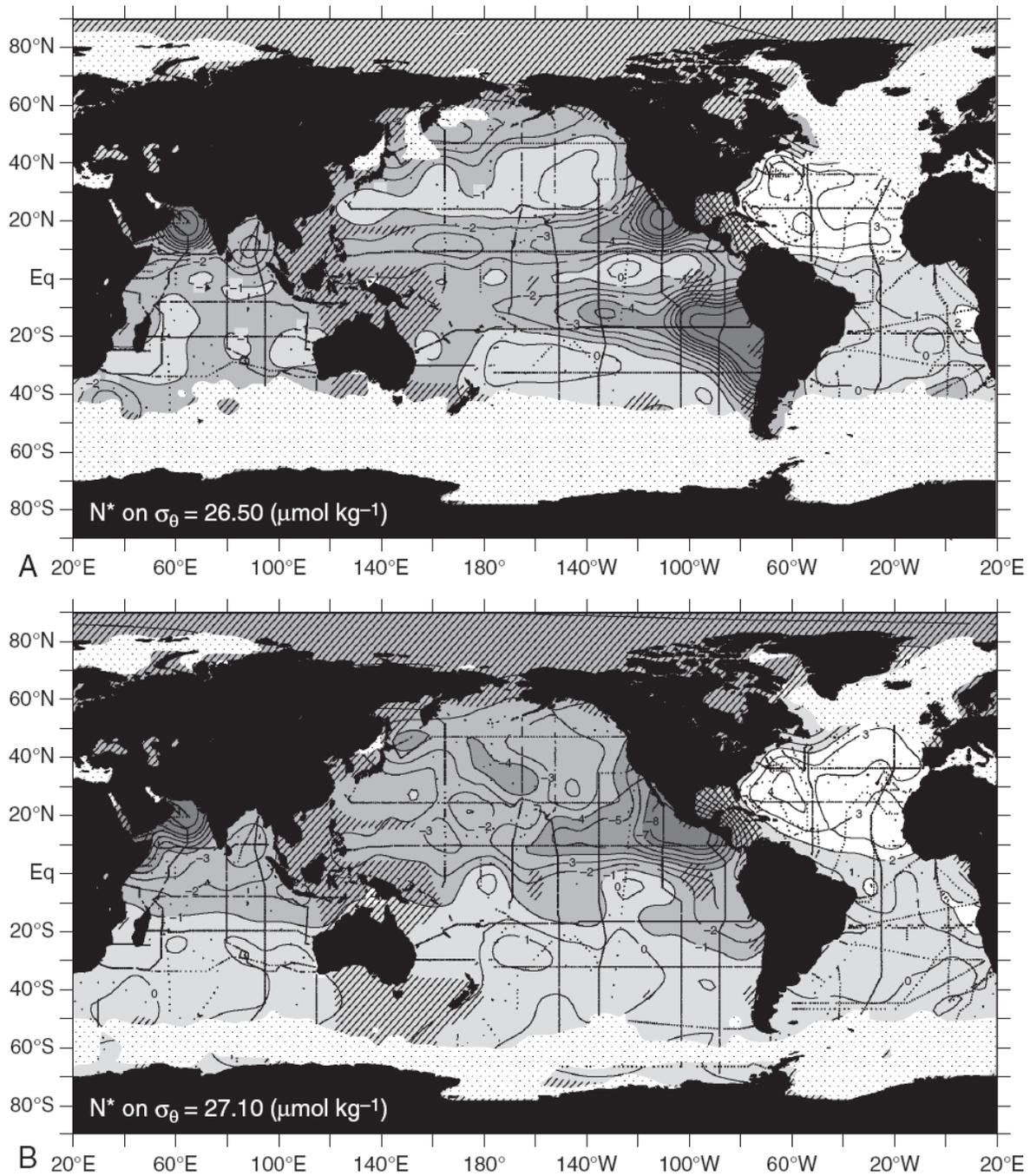


Figura 47. Mapa de los océanos mostrando los valores de N^* en dos isopicnas del proyecto WOCE (1990 – 2002). Tomado de Gruber (2008) A) corresponde a aguas subtropicales (300 m); B) corresponde a aguas de modo subpolar (800 m).

9.4.1 Peces

Los valores de $\delta^{15}\text{N}$ de *K. averruncus*, *M.* y *C. xanthostigma* son contrastantes con los valores de peces del mismo nivel trófico (calculados con base al contenido estomacal) reportados en diversos sitios del Atlántico Norte (Tabla 1) en zonas particulares en donde se registran altas tasas de fijación de N_2 y procesos de nitrificación (Figura 47).

En particular tres valores de $\delta^{15}\text{N}$ de peces se aproximan a los valores de *C. xanthostigma* y *K. averruncus*; estos son *Antimora rostrata*, *Coryphaenoides armatus*, y *Solea solea*. Los dos primeros peces son organismos que se encontraron a más de 4000 m de profundidad en una fosa abisal en el Atlántico Norte. En esta fosa abisal la concentración de O_2 es óptima para que se lleve a cabo la nitrificación [$\text{O}_2 > 10 \mu\text{M}$]. Como se mencionó anteriormente, la nitrificación es un proceso que requiere tanto NH_4^+ como O_2 para que se lleve a cabo (Ward et al., 2007; Beman et al., 2008). Aunque la desnitrificación no es tan intensa en esta zona (Figura 47), el $\delta^{15}\text{NO}_3^-$ puede ser mayor que el $\delta^{15}\text{NO}_3$ en la columna del océano promedio de 4.5 ‰ (Sigman et al., 1997). El contenido estomacal de ambas especies estuvo constituido por especies bentónicas que registraron una elevada señal de $\delta^{15}\text{N}$ (Iken et al., 2001), además de presentar hábitos carroñeros, e incluso filtradores de sedimento para alimentarse de materia orgánica (Stowasser et al., 2009)

S. solea al igual que *C. xanthostigma* es una especie del orden *Pleuronectiformes* (peces planos) que habita en la Bahía de Vizcaya (Francia). Ambas especies presentan valores altos de $\delta^{15}\text{N}$ (15.7-16.8 ‰ en el caso de *C. xanthostigma* y 15.39 en el caso de *S. solea*), sin embargo las causas de ambos valores tan enriquecidos parecen ser distintas. A diferencia del Pacífico Nororiental, la Bahía de Vizcaya presenta una marcada estacionalidad en el aporte de nutrientes alóctonos.

Tabla 12. Tabla comparativa de datos isotópicos en diferentes especies de peces seleccionadas por ser contrastantes con la señal isotópica de peces colectados en el Pacífico Nororiental.

Especie	$\delta^{15}\text{N}$	Región	Cita
<i>Holocentrus rufus</i>	11.56	Atlántico, Caribe	(Aguilar et al., 2008)
<i>Halichoeres garnoti</i>	10.62	Atlántico, Caribe	(Aguilar et al., 2008)
<i>Sardina pilchardus</i>	10.7	Atlántico, Península Ibérica	(Bode et al., 2007)
<i>Trachurus trachurus</i>	11.3	Atlántico, Península Ibérica	(Bode et al., 2007)
<i>Centropomus undecimalis</i>	13.2	Atlántico, Brasil	(Corbisier et al., 2006)
<i>Ctenosciaena gracilicirrus</i>	12.8	Atlántico, Brasil	(Corbisier et al., 2006)
<i>Merluccius merluccius</i>	12.7	Atlántico NE, Francia	(Le Loc'h et al., 2008)
<i>Solea solea</i>	15.39	Atlántico NE, Francia	(Le Loc'h et al., 2008)
<i>Clupea harengus</i>	11.2	Atlántico NO, Virginia	(Logan y Lutcavage, 2008)
<i>Sebastes mentella</i>	9.5	Atlántico, N, Islandia	(Petursdottir et al., 2008)
<i>Benthoosema glaciale</i>	11	Atlántico, N, Islandia	(Petursdottir et al., 2008)
<i>Antimora rostrata</i>	16.1	Atlántico NE, Mar del Norte	(Stowasser et al., 2009)
<i>Coryphaenoides armatus</i>	16.7	Atlántico NE, Mar del Norte	(Stowasser et al., 2009)
<i>Citharichthys xanthostigma</i>	16.07	Pacífico Nororiental, México	En este estudio
<i>Kathetostoma averruncus</i>	16.32	Pacífico Nororiental, México	En este estudio
<i>Merluccius angustimanus</i>	15.6	Pacífico Nororiental, México	En este estudio
<i>Sardinops sagax</i>	12.26	Pacífico Nororiental, México	En este estudio

Estos aportes de nutrientes provenientes de ríos en conjunto con diferencias en el forzamiento físico generan una resuspensión más activa durante primavera. El detritus y la materia orgánica son activamente transformadas durante la resuspensión y el hundimiento de las partículas, lo cual altera su composición isotópica. Estos procesos originan una variabilidad temporal en la materia orgánica disponible, tanto en su cantidad como en su calidad, lo cual es el sustento de la comunidad bentónica en esta área. En un trabajo reciente Le Loc'h et al. (2008) señalan la importancia de la ruta del detritus en esta área.

El caso de *Merluccius angustimanus* y *M. merluccius* llama particularmente la atención e ilustra en buena forma la influencia de los procesos de desnitrificación en el Pacífico Nororiental. Dado que ambas especies presentan los mismos elencos en sus dietas (necton, zoobentos y zooplancton) las diferencias en sus valores isotópicos se deben principalmente a la transferencia del valor isotópico de las zonas en las que habitan.

Tanto *Trachurus trachurus* como *Sardina pilchardus* tiene como hábitat una región bajo la influencia de una intensa temporada de surgencia. En esta región del Océano Atlántico la influencia de los nutrientes asociados a la surgencia puede generar una cadena trófica muy diferente a la que se presentaría cuando el bombeo de Ekman no está presente. Bajo condiciones de bajo aporte de nutrientes o relajamiento de surgencia, una cadena trófica basada en la remineralización de la materia orgánica por bacterias puede adquirir importancia (Bode et al., 2007). Ya que los isótopos ligeros son preferentemente utilizados en procesos metabólicos, un florecimiento de fitoplancton bajo condiciones de remineralización bacteriana presenta una mayor proporción de ^{15}N a diferencia de un florecimiento que crece bajo condiciones de surgencia.

Los peces del Caribe *Holocentrus rufus* y *Halichoeres garnoti* presentaron una diferencia de hasta 4 ‰ al ser comparados con valores del Pacífico Nororiental. Ambas especies comparten niveles tróficos de acuerdo a su dieta con *C. xanthostigma* y *K. averruncus*. La dieta de *Holocentrus rufus* está integrada principalmente por crustáceos

e invertebrados del bentos, mientras que *Halichoeres garnoti* es predador oportunista que se alimenta de pequeños peces y crustáceos. El estudio realizado por Aguilar et al. (2008) del que se tomaron estos datos, fue realizado en la zona costera cubana muy cerca de la ciudad de la Habana. La zona recibe una fuerte carga de nutrientes producto de descargas antropogénicas. Es posible que NO_3^- o NH_4^+ residual de los fertilizantes y aguas de desecho hayan sido asimilados por autótrofos. Aun cuando los aportes alóctonos de origen antropogénico están enriquecidos en ^{15}N y su señal es transferida en ambientes costeros (McClelland et al., 1997; McClelland y Valiela, 1998), los valores de $\delta^{15}\text{N}$ en *H. rufus* y *H. garnoti* son menores a los de los organismos encontrados en el Pacífico Nororiental bajo condiciones de desnitrificación.

La dieta de los peces de la costa de Brasil *Centropomus undecimalis*, *Ctenosciaena gracilicirrhus*, tienen similitud con las especies *C. xanthostigma* y *K. averruncus*. Además de tener hábitos semi bentónicos ambas especies se encuentran en el tope de la cadena trófica del ecosistema tropical que habitan. Al igual que en el caso de de los peces del Caribe anteriormente comparados, la zona en la que habitan estas dos especies se encuentra bajo el flujo continuo de descargas antropogénicas aunque en menor cantidad. A pesar de estar ubicada en la región selvática la zona presenta descargas de ríos solo de manera intermitente y tiene un máximo de abundancia de fitoplancton relacionada con la presencia de surgencias durante primavera – verano (Corbisier et al., 2006). Excluyendo estos eventos la zona se comporta de forma oligotrófica, lo cual habla de su estado de conservación y la hace comparable con la zona oceánica frente a Bahía Magdalena del Pacífico Nororiental. Los valores de $\delta^{15}\text{N}$ en los peces del Pacífico Nororiental son hasta 3.2 ‰ más altos aunque las cuatro especies tienen posiciones tróficas parecidas, lo cual muestra la influencia de los procesos de desnitrificación en los valores isotópicos de *C. xanthostigma* y *K. averruncus*.

9.4.2 Cefalópodos

La comparación entre los cefalópodos del Pacífico Nororiental con los reportados por Bode et al. (2007) y Corbisier et al. (2006) generó diferencias en la señal de $\delta^{15}\text{N}$ más grandes (hasta de 6 ‰) que los obtenidos al comparar los peces de las mismas

zonas. En la Península Ibérica el género *Allotheuthis* spp. es un activo depredador de crustáceos y peces. En el caso de *Loligo* sp. en las costas de Brasil su alimentación está dominada por crustáceos, aunque es común encontrar peces también. En las costas del Pacífico Nororiental *Dosidiscus gigas* se alimenta primordialmente de *P. planipes*. Recientes estudios han señalado que esta especie se alimenta activamente en la ZMO, sitio que como se ha mencionado, es en donde se lleva a cabo intensamente el proceso de desnitrificación. Los resultados de un estudio realizado con marcación satelital (Gilly, 2006) muestran que *D. gigas* tiene migraciones verticales intensas en el Pacífico Nororiental y en el Golfo de California y que visita continuamente zonas en donde la concentración de O₂ se encuentra por debajo de 10 μM.

Tabla 13. Comparación entre valores de δ¹⁵N de cefalópodos colectados en la zona del Pacífico Nororiental y en dos zonas del Atlántico.

Especie	δ ¹⁵ N	Región	Cita
<i>Allotheuthis</i> spp.	10.1	Atlántico, Península Ibérica	(Bode et al., 2007)
<i>Loligo</i> sp.	12.8	Atlántico, Brasil	(Corbisier et al., 2006)
<i>Dosidiscus gigas</i>	16.28	Pacífico Nororiental, México	En este estudio

9.4.3 Decápodos

La comparación entre los valores de δ¹⁵N de los decápodos provee información importante ya que al alimentarse directamente de la materia orgánica en sedimentación, estos organismos pueden ser el reflejo de los procesos biogeoquímicos de los sitios en los que habitan. *Xiphopenaeus kroyeri* es un decápodo de importancia comercial explotado en la pesca y en la acuicultura de Sudamérica. Su alimentación está compuesta principalmente de detritus de distintos orígenes, diatomeas bentónicas y partículas inorgánicas como micro minerales. *Sergestes arcticus* es un decápodo bentopelágico que se alimenta principalmente de copépodos y eufausidos. En el caso de *P. planipes* es más complejo ya que su dieta está en función de la profundidad a la que se encuentra. En el trabajo realizado por Pérez-Flores y Auriol-Gamboa (1995)

se determinó que el elemento de mayor importancia en el contenido estomacal es la MOP, aunque los organismos que se colectaron a profundidad mayor a los 150 m tuvieron en su tracto digestivo un gran porcentaje de arena, lo cual de acuerdo con los autores, es reflejo del esfuerzo por filtrar partículas nutritivas. Sin embargo no se descarta la posibilidad de que la langostilla que se encuentra en estas profundidades cubra sus requerimientos nutricionales con las partículas orgánicas adheridas a los granos de arena.

La MOP es una compleja mezcla de compuestos que pueden incluir diversos tamaños y clases, por ejemplo polisacáridos y lípidos; está además constituida por partículas de distintos orígenes y fuentes. En el caso del Pacífico Nororiental y en particular en la zona oceánica frente a Bahía Magdalena, el detritus puede estar conformado por partículas en hundimiento preservadas debido a la ZMO que pueden ser tan somera como 80 m (Figura 1), en cuyo caso si se asume que existe un enriquecimiento isotópico entre el sustrato y el producto de 3-4 ‰, la MOP debería tener una señal isotópica entre 9-10 ‰. Es posible encontrar valores que van de 8-14 ‰ en trampas de sedimento como el caso reportado por Silverberg et al. (2004).

Tabla 14. Comparación entre los valores de $\delta^{15}\text{N}$ de decápodos colectados en la zona del Pacífico Nororiental y el Atlántico

Especie	$\delta^{15}\text{N}$	Región	Cita
<i>Xiphopenaeus kroyeri</i>	11.6	Atlántico, Brasil	(Corbisier et al., 2006)
<i>Sergestes arcticus</i>	8.5	Atlántico, N, Islandia	(Petursdottir et al., 2008)
<i>Pleuoncodes planipes</i>	14.45	Pacífico Nororiental, México	En este estudio

9.4.4 Mamíferos marinos

Los mamíferos marinos, en particular los pinnípedios, cetáceos y el oso polar, pueden ocupar posiciones tope en la red trófica de diversos ecosistemas. Aunque algunos de ellos son predadores oportunistas, los ejemplos que se exponen en la Tabla 15 representan especies que tienen preferencias por algunos elementos en su dieta, ya

sea por su abundancia o porque al alimentarse de ellos cubren sus requerimientos energéticos. Los estudios de nicho trófico han tenido un importante avance desde la implementación de los isótopos estables de N y C, ya que estudios clásicos de análisis de contenido estomacal o heces pueden subestimar elementos importantes, como moluscos y medusas que son digeridos en periodos cortos (Dehn et al., 2007). En la zona oceánica frente a Bahía Magdalena (Pacífico Nororiental), se encuentra una colonia de más de 1000 lobos marinos (*Zalophus californianus*). Su dieta está constituida por un elenco de peces con diversos hábitos alimentarios como *Sardinops sagax* (filtrador planctónico) y *K. averruncus* (carnívoro), además de consumir habitualmente langostilla (*P. planipes*) y calamar (*D. gigas*). Los elementos de la dieta al igual que *Z. californianus* residentes permanentes de la región oceánica frente a Bahía Magdalena presentan valores de $\delta^{15}\text{N}$ característicos de la zona de desnitrificación. Como se aprecia en la Tabla 15, el valor de $\delta^{15}\text{N}$ de este depredador se encuentra más enriquecido (en más de 2 ‰) que otros mamíferos marinos con hábitos alimenticios parecidos pero en regiones en las que los procesos de desnitrificación no son intensos.

Un punto interesante es que al comparar la señal isotópica de *Eumetopias jubatus* (Otaridae), y *Phoca vitulina* (Phocidae), Hobson et al. (1997) descubren que las focas están más enriquecidas en $\delta^{15}\text{N}$ en más de 1 ‰; la explicación es una preferencia en la dieta de este mamífero por el calamar en comparación con el lobo marino, el cual se alimenta en esa zona preferentemente de cabrilla (Alaska pollock). En el caso de *Pusa hispida* (foca anillada) se ha documentado como un predador oportunista que se alimenta primordialmente de Bacalao aunque durante primavera y verano su alimentación puede incluir anfípodos, eufausidos y crustáceos bentónicos. Cabe resaltar que *P. hispida* no es el predador tope en esta región como sucede en el Pacífico Nororiental. El valor más alto de $\delta^{15}\text{N}$ y nivel trófico más alto (21.1 ‰, nivel trófico 5.5) corresponde a *Ursus maritimus* (oso polar), el cual se alimenta principalmente de *Pusa hispida* (Hobson et al., 2002).

Los valores de $\delta^{15}\text{N}$ de *Tursiops truncatus* son más de 4 ‰ mas altos que los de *Delphis delphis* de la Península Ibérica, aunque ambas especies tienen hábitos alimenticios parecidos.

Tabla 15. Comparación de valores de $\delta^{15}\text{N}$ obtenidos de mamíferos marinos que habitan en el Pacífico Nororiental y diversas zonas del Atlántico.

Especie	$\delta^{15}\text{N}$	Región	Cita
<i>Eumetopias jubatus</i>	17.5	Pacífico Norte, Alaska	(Hobson et al., 1997)
<i>Pusa hispida</i>	17.5	Ártico, Polynia	(Hobson et al., 2002)
<i>Zalophus californianus</i>	19.64	Pacífico Nororiental	En este estudio
<i>Delphinus delphis</i>	13.1	Atlántico, Península Ibérica	(Bode et al., 2007)
<i>Tursiops truncatus</i>	17.33	Pacífico Nororiental	En este estudio
<i>Balaena mysticetus</i>	13.2	Ártico, Polynia	(Hobson et al., 2002)
<i>Balaenoptera musculus</i>	16.9	Pacífico, Golfo de California	(Busquets, 2008)

Tanto la ballena azul (*Balaenoptera musculus*) como la ballena boreal (*Balaena mysticetus*) son mamíferos marinos que se alimentan de plancton. En el caso de *B. musculus* su dieta está dominada por eufausidos mientras que *B. mysticetus* se alimenta de una mezcla planctónica dominada por copépodos y eufausidos. Como se observa en la Tabla 15, los valores de $\delta^{15}\text{N}$ son significativamente diferentes entre ambas ballenas lo cual refleja el ambiente en el que se alimentaron. Busquets (2008) señala que la Ballena azul cambia en aproximadamente 3 ‰ su valor de $\delta^{15}\text{N}$ al migrar desde aguas del Pacífico Norte hasta su refugio invernal en aguas del Golfo de California. Dado que este organismo es estenófago, los cambios en la señal isotópica se deben solamente al cambio en la razón isotópica del alimento.

9.5 Valores altos de $\delta^{15}\text{N}$ en Pacífico Nororiental

Como se expuso en la comparación de valores isotópicos, es claro que la zona del Pacífico Nororiental presenta valores altos de $\delta^{15}\text{N}$ en comparación con zonas en las cuales los procesos de desnitrificación son poco frecuentes o no muy intensos.

Aunque existen estudios en la región del Pacífico Nororiental que explican la influencia de los procesos de desnitrificación en diversos compartimentos como en la columna de agua (Sigman et al., 1997; Altabet, 2001; Sigman et al., 2003), MOP (Altabet et al., 1999; Lourey et al., 2003; Thunell y Kepple, 2004) y material sedimentario (Voss et al., 2001; Kienast et al., 2002), son pocos los que han mencionado la influencia de este proceso en la cadena trófica. Recientes estudios como los realizados por Auriol-Gamboa et al. (2009), Menard et al. (2007), Graham et al. (2001; 2007) y tesis realizadas en CICIMAR (Busquets, 2008; Lopez-Ibarra, 2008) señalan la transferencia de la señal isotópica desde la base de la cadena trófica a subsecuentes niveles tróficos. Los autores arriba mencionados remarcan la elevada señal de $\delta^{15}\text{N}$ como característica de los organismos asociados a la zona del Pacífico Nororiental en diversos puntos de la cadena trófica.

El proceso de desnitrificación está caracterizado por un valor muy alto de ε (hasta -30 ‰). Bajo este hallazgo se entiende que aguas profundas con valor promedio de $\delta^{15}\text{NO}_3^-$ de entre 4-6 ‰ alcanzarían un valor de ~ 8 ‰. Esta señal elevada de $\delta^{15}\text{NO}_3^-$ se espera será transferida en subsecuentes pasos tróficos (Altabet et al., 1999). Sin embargo, el proceso de desnitrificación no explica el valor de 15 ‰ $\delta^{15}\text{NO}_3^-$ reportado en la ZMO del Pacífico Nororiental (Brandes et al., 1998; Brandes y Devol, 2002; Sigman et al., 2003; Yamagishi et al., 2007).

Los valores máximos alcanzados en la ZMO pueden ser el reflejo de:

La incompleta asimilación de NO_3^- en zonas de surgencia. En zonas de surgencia en las cuales el hierro (Fe) puede ser un factor limitante en la producción primaria (Gruber y Sarmiento, 1997), la incompleta asimilación de nutrientes deja un residual de

NO_3^- que es enriquecido en $\delta^{15}\text{NO}_3^-$ y asimilado por otros productores primarios que tendrán un valor isotópico mayor.

Actividad bacteriana: Por debajo de las zonas de alta productividad oceánica el océano profundo puede ser anóxico o subóxico. Las bacterias que habitan estas regiones utilizan el NO_3^- como receptoras de electrones en lugar de O_2 en un proceso de respiración anaeróbica (Knowles, 1982). Este proceso remueve el ^{14}N dejando NO_3^- enriquecido en $\delta^{15}\text{N}$. Los eventos de surgencia bombean a la superficie NO_3^- con una elevada señal isotópica que es transferida a los productores primarios y a sucesivos niveles tróficos.

En zonas costeras los procesos de asimilación, excreción, lisis, entre otros, son muy dinámicos y casi instantáneos, principalmente en respuesta a procesos físicos locales, por lo tanto es difícil acoplar en escala temporal y espacial el consumo de NO_3^- y la señal isotópica asociada. Por otro lado en océano abierto es posible observar valores bajos de $\delta^{15}\text{NO}_3^-$ como respuesta a la asimilación de NO_3^- y su incremento en la señal isotópica posterior, mientras los nutrientes van disminuyendo su concentración (Altabet et al., 1999). Los procesos de nitrificación y desnitrificación, así como el reciclamiento bacteriano están más acoplados de lo que se creía anteriormente en la capa superficial por encima de las ZMO (Brandes et al., 2007). Lo cual puede originar una continua fuente enriquecimiento isotópico a lo largo del año.

Los datos sugieren que la señal de $\delta^{15}\text{NO}_3^-$ proveniente de zonas de elevada desnitrificación tiene una gran influencia en la señal isotópica de N en la cadena trófica de la ZTTT. Estas aguas tienen dos posibles orígenes: la zona de desnitrificación originada en la ZOM frente a Bahía Magdalena con una elevada señal de $\delta^{15}\text{NO}_3^-$ (~13 ‰) o aguas de origen tropical transportadas hacia el norte por la cCC con una señal isotópica menor (Figura 48) que la anterior pero mayor que la del promedio reportada en el océano abierto (Sigman et al., 1997) .

El $\delta^{15}\text{-NO}_3^-$ es asimilado por el fitoplancton originando una base de la cadena trófica enriquecida en ^{15}N que después es transferida al siguiente eslabón de la cadena. Como se observa en la Figura 48, la ganancia o bio-acumulación del $\delta^{15}\text{N}$ no

es constante a lo largo de la cadena trófica. De acuerdo a Vander Zanden y Rasmussen (2001) la ganancia en $\delta^{15}\text{N}$ del depredador a la presa (definido como $\Delta\delta^{15}\text{N}$) no es constante a lo largo de la cadena trófica, presentándose las mayores variaciones en los herbívoros. Por lo contrario el $\Delta\delta^{15}\text{N}$ es menos variable en los carnívoros. Este punto adquiere relevancia al mostrarse que el promedio de Δ usado comúnmente para estimar posiciones tróficas en organismos es de 3.4 ‰. En la Figura 48 puede observarse que para el caso de la ZTTT este promedio no es válido y por lo tanto debe ser recalculado. De acuerdo a Martínez Del Río et al. (2009) la forma más válida de aproximarse al valor de Δ es mediante estudios controlados de laboratorio. A falta de lo anterior lo mejor es explorarlo con la mayor cantidad de datos colectados del ambiente a estudiar.

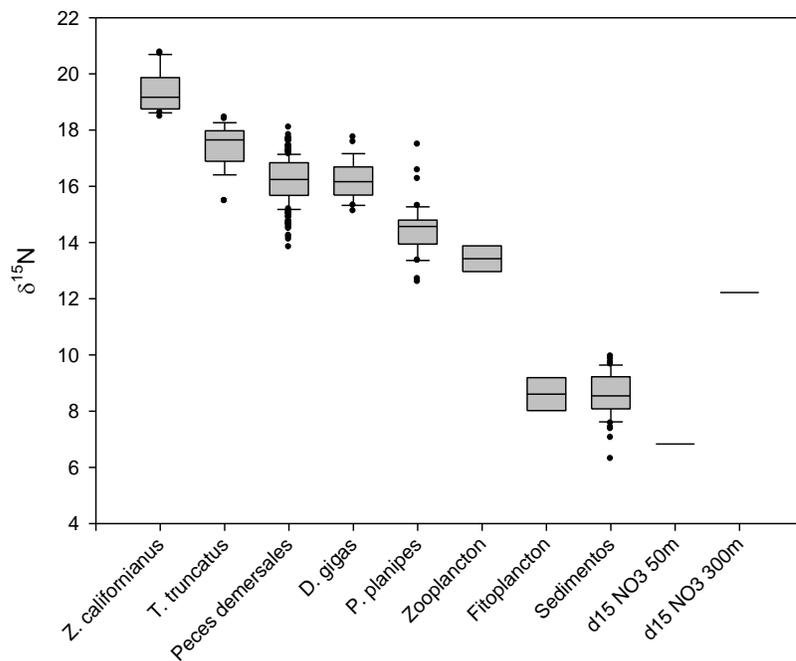


Figura 48. Valores de $\delta^{15}\text{N}$ en los diferentes elementos de la ZTTT analizados en este estudio.

9.6 Permanencia de la señal isotópica desde la base de la cadena trófica hasta niveles tróficos tope

9.6.1 Transferencia isotópica

A pesar de la utilización de los isótopos de N estables en diversos campos de la oceanografía y ecología son pocos los estudios realizados en el campo de la fisiología y bioquímica de la transferencia isotópica. De acuerdo a Adams & Sterner (2000) la discriminación isotópica del ^{15}N podría ocurrir en la síntesis de amino ácidos, en donde se excreta el isótopo ligero y se retiene el pesado. La base química del fraccionamiento es que los isótopos pesados tienen una menor frecuencia vibratoria de los enlaces químicos en comparación con los isótopos ligeros. El resultado es que los isótopos pesados forman enlaces químicos con mayor energía y difíciles de romperse en reacciones químicas. Fisiológicamente los grupos amino (cualquier derivado de amoniaco) que contienen ^{14}N son favorecidos durante la transaminación (síntesis de amino ácidos no esenciales, degradación de amino ácidos) y desaminación, lo cual resulta en la excreción del isótopo ligero y el enriquecimiento de algunos aminoácidos como el glutamato.

Después de la revisión de Vander Zanden & Rasmussen (2001) un enriquecimiento entre niveles tróficos de 3 – 4 ‰ en $\delta^{15}\text{N}$ ha sido adoptado en trabajos en los que se requiere estimar el nivel trófico. Las ecuaciones para estimar el nivel de una especie se basan en el enriquecimiento isotópico que existe entre un consumidor normalizándolo con el valor isotópico del productor primario. Esta aproximación podría estar enmascarando información importante ya que el factor de enriquecimiento es el resumen de la transferencia isotópica entre un nivel trófico y otro, y este valor puede variar ampliamente (Vanderklift y Ponsard, 2003; Dalerum y Angerbjörn, 2005).

9.6.2 Factor de discriminación (Δ)

Con datos de la zona oceánica frente a Bahía Magdalena para los periodos de Marzo y noviembre (2006 y 2007) es posible ilustrar los cambios en el factor de enriquecimiento promedio como respuesta de una ruta trófica simple a los cambios ambientales.

La zona oceánica frente a Bahía Magdalena presenta una marcada estacionalidad en la productividad primaria como resultado de la sincronía entre la intensificación de la Corriente de California (CC) y eventos intensos de surgencia durante el primer trimestre del año. Durante el segundo semestre del año la CC se debilita lo cual origina que el sistema reduzca su productividad primaria (González-Rodríguez, 2008). Los eventos de surgencia pueden presentarse en el segundo semestre del año aunque las aguas bombeadas a la superficie tiene características de la contra Corriente de California (cCC). Una descripción detallada de la hidrografía del área puede encontrarse en Kienast et al. (2002).

La Figura 49 muestran los valores de $\delta^{15}\text{N}$ en diferentes especies que forman una ruta trófica al lobo marino (*Z. californianus*) en la zona oceánica frente a Bahía Magdalena. Los datos representan cuatro temporadas en las cuales el mes de Marzo corresponde a la temporada templada y Noviembre a la temporada cálida.

La temperatura superficial del mar registrada durante Marzo de 2007 fue 4° C más alta en comparación con Marzo de 2006. Se cuenta con información que indica que esta diferencia se debe a la presencia de un evento “El Niño” de condiciones moderadas. Durante Noviembre de 2007 la temperatura superficial del mar fue 1° C más fría que la registrada durante Noviembre de 2006.

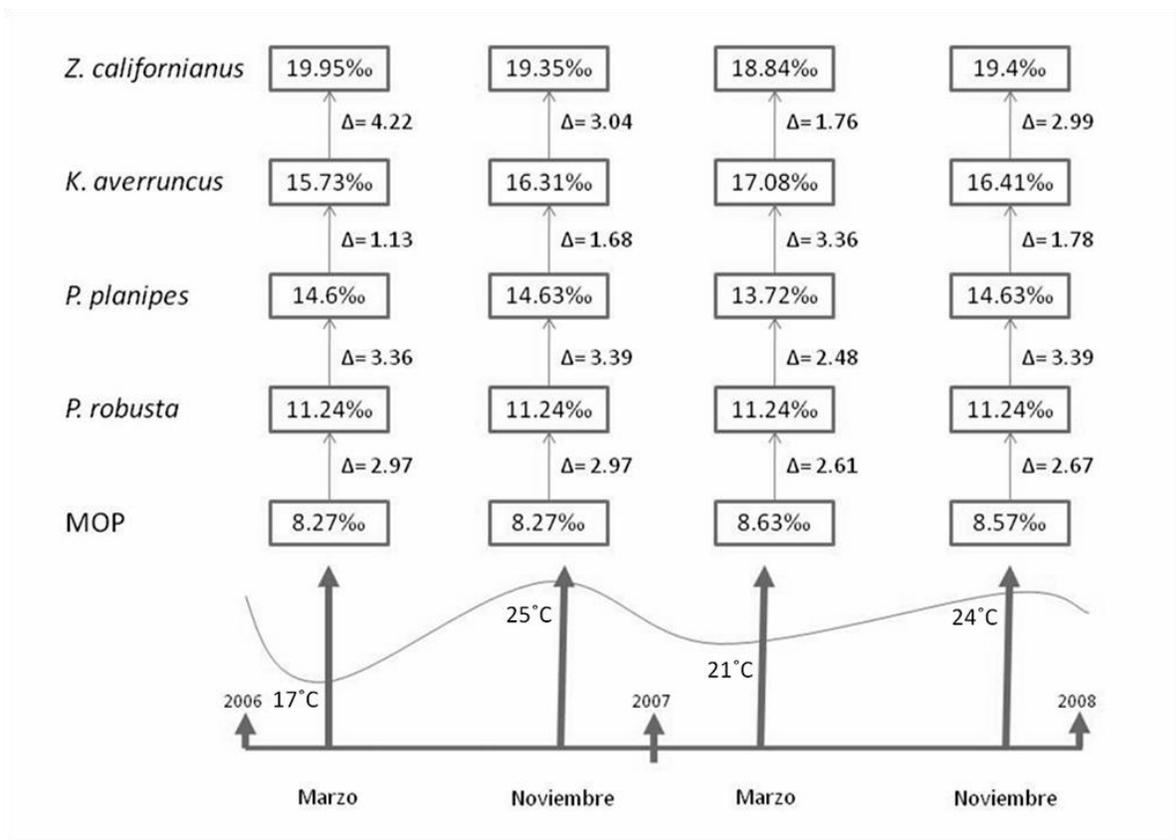


Figura 49. Valores isotópicos de los elementos de una cadena trófica del Pacífico Nororiental cuyo punto final es el lobo marino (*Z. californianus*). Los símbolos □ representan la diferencia del valor isotópico entre el consumidor y la presa. El valor de *Pleuromamma robusta* se obtuvo de López-Ibarra (2008). La curva en la parte inferior indica temperatura (°C).

El enriquecimiento promedio durante Marzo de 2006 fue de 2.92 ‰ mientras que durante Marzo de 2007 fue de 2.55 ‰. Durante Noviembre de 2006 y 2007 el enriquecimiento promedio fue de 2.7 ‰. Bajo condiciones de agotamiento de N el fraccionamiento isotópico se comporta como un sistema cerrado, en el cual todo el N disponible en el sustrato será convertido en producto (Adams y Sterner, 2000). Bajo esta teoría, el enriquecimiento isotópico sería cero y el producto tendría la misma señal isotópica del sustrato. Por lo tanto se puede pensar que el enriquecimiento isotópico entre niveles tróficos puede depender de la disponibilidad de N en la presa. Lo anterior puede apuntar al enriquecimiento isotópico promedio como un indicador de la transferencia de N en este ambiente.

Diversos estudios han reportado el impacto del fenómeno de “El Niño” en la estructura trófica en relación con su intensidad. En los eventos más fuertes se puede presentar un cambio en la diversidad y abundancia de especies y por consiguiente cambios drásticos en la captura de peces comerciales (Lluch-Belda et al., 2005). Los eventos menos intensos como el que se registró en el 2007 parecen tener menor importancia en el total del ecosistema. Sin embargo en Marzo de 2007 la langostilla (*P. planipes*) disminuyó su abundancia en la zona de 200 a 50 toneladas (Figura 41). En Marzo de 2007 el enriquecimiento isotópico entre *K. averruncus* y *P. planipes* fue el más alto de las cuatro temporadas (Figura 49). El análisis del contenido estomacal de *K. averruncus* revela que *P. planipes* es el elemento preferente en su dieta para las cuatro temporadas analizadas. A pesar de la disminución de *P. planipes* en el área *K. averruncus* presentó más de un 98 % de presencia en los estómagos durante Marzo de 2007, y controversialmente el enriquecimiento entre *K. averruncus* y *Z. californianus* fue el menor en esta temporada. Esto puede tener explicación en la dieta del lobo marino ya que *K. averruncus* no es la única presa de este pinnípedo (Bautista-Vega, 2002; Rodríguez-Valenzuela, 2009).

9.6.3 Cálculo de Nt usando Δ y el $\delta^{15}\text{N}$ de la base de la cadena trófica temporal

Teniendo valores de $\delta^{15}\text{N}$ de diferentes compartimentos del ecosistema, tanto bióticos como abióticos para el área de estudio, surgió la posibilidad de calcular el nivel trófico de las especies analizadas incorporando el factor de discriminación promedio (Δ) para las cuatro temporadas muestreadas. Es común encontrar en trabajos que el factor de discriminación promedio o el factor de enriquecimiento (FE) asignado es de 3.4 ‰, y corresponde al promedio calculado para ambientes acuáticos por Vander Zanden y Rasmussen (2001). Si bien este trabajo es una importante revisión (22 estudios, 20 especies) los ambientes a los que se refiere este promedio son contrastantes con la ZTTT, en la cual la dinámica del ciclo del N puede estar afectando el factor de discriminación promedio. Un valor de FE distinto al de 3.4 ‰ fue reportado por Vanderklift y Ponsard (2003). En este meta-análisis se consultaron 134 estimaciones de Δ de 32 publicaciones en una amplia gama de organismos marinos (mamíferos marinos, peces, crustáceos, moluscos) encontrando un valor de Δ de 2.54 ‰ \pm 0.11 ‰

S.E). Lo anterior sugiere que las fuentes de N y los ciclos biogeoquímicos de los ambientes deben ser tomados en cuenta al utilizar el valor de Δ en cálculos de Nt.

Para el presente estudio se utilizaron los valores calculados en el apartado 9.3 (factor de discriminación) para calcular los niveles tróficos de las especies de peces demersales capturadas. La especie que presentaron los menores valores de Nt fueron *P. simillimus* durante la temporada de marzo de 2006, con un valor de 3.2, y *M. angustimanus* con un valor de 3.3 durante la temporada de Marzo de 2007. El máximo valor registrado correspondió a *Zalietus elater* durante la temporada de Noviembre de 2007 (4.2, Tabla 16).

De forma general las especies capturadas se mantuvieron en un nivel trófico de 3.8 en las temporadas muestreadas aunque en la temporada de Marzo de 2006 este parámetro presentó los valores menores (Figura 50), lo cual podría estar relacionado con el incremento en la producción primaria y los eventos climáticos descritos anteriormente (inciso 9.1, discusión del marco oceanográfico)

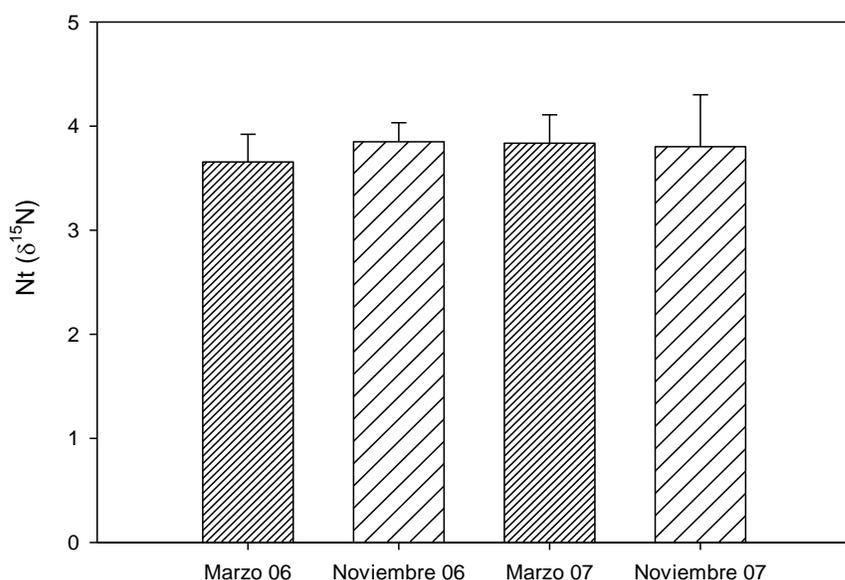


Figura 50. Nivel trófico promedio de todas las especies demersales capturadas en la ZTTT-BAMA utilizando Δ , y $\delta^{15}\text{N}$ de la base de la cadena trófica estacional.

El valor de Nt estimado mediante $\delta^{15}\text{N}$ respondió a los cambios ambientales en la mayoría de las especies. Como se observa en la Tabla 16, la época de Marzo de 2007 registró un incremento en este parámetro. Esto puede tener explicación en la invasión de aguas tropicales empobrecidas de nutrientes, lo cual tiene relación directa con la drástica disminución en la productividad primaria. Es probable que el efecto haya sido percibido por los peces demersales ya sea por un incremento en la señal isotópica desde el material disuelto o por una baja en la biomasa de una de las dietas constante como es *P. planipes*, lo cual pudo haber originado mayor número de especies de distintos niveles tróficos.

El incremento en el Nt utilizando esta aproximación no fue evidente en los mamíferos marinos, e incluso tuvo un efecto inverso al reducir su valor. Se ha mostrado que durante la temporada de Marzo de 2007 diversos elementos de la cadena trófica de la ZTTT fueron afectados (e.g. disminución de la producción primaria, disminución en biomasa de *P. planipes*), y esto podría haber afectado la disponibilidad de las presas frecuentes de *Z. californianus* y *T. truncatus*, obligando a estos predadores tope a buscar presas de menor Nt como crustáceos o peces de menor nivel trófico.

Durante periodos de hambruna los organismos incrementan su $\delta^{15}\text{N}$ al excretar una mayor cantidad de ^{14}N con respecto al que es introducido en su dieta, lo cual origina un desbalance metabólico y los organismos literalmente sufren de un fraccionamiento interno (Adams y Sterner, 2000). Este fenómeno no fue detectado en las señales de $\delta^{13}\text{C}$ ni $\delta^{15}\text{N}$ en los mamíferos marinos varados, aunque hubo un incremento importante en la desviación estándar de ambas mediciones (Figura 27). Una probable explicación es un incremento en el número de presas como respuesta a la disminución y presencia de las que conforman su elenco preferido, lo cual incrementa el número de fuentes probables de C y N por lo tanto una alta desviación estándar.

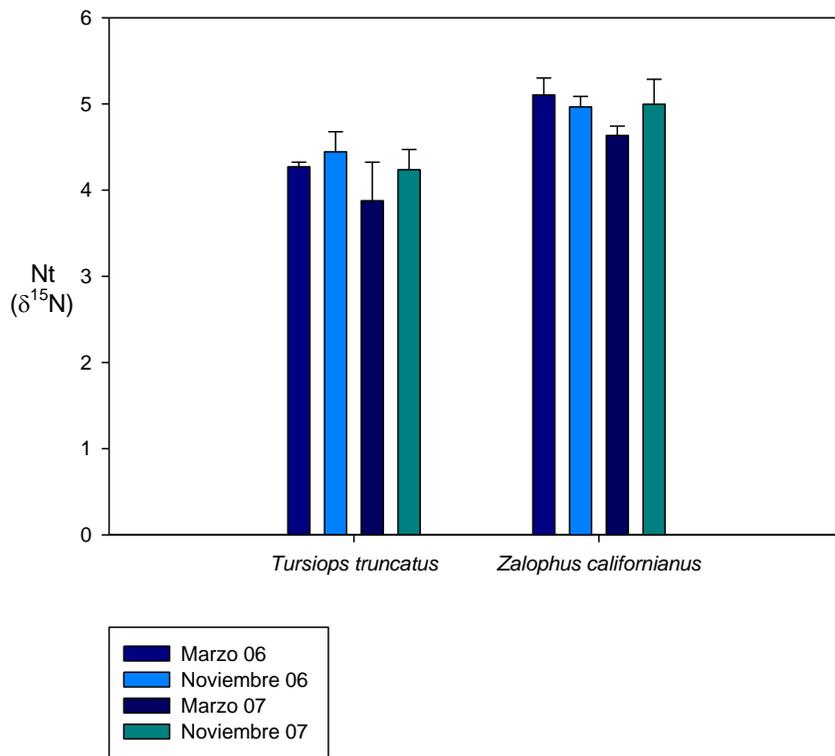


Figura 51. Nt de mamíferos varados en la zona de estudio utilizando Δ , y $\delta^{15}\text{N}$ de la base de la cadena trófica estacional.

9.7 Contraste del nivel trófico estimado por contenido estomacal y $\delta^{15}\text{N}$

El nivel trófico de un organismo es un indicador de la posición que ocupa en la cadena trófica respecto a la base de la red trófica o fuentes de energía primaria. Conocer el nivel trófico en la actualidad tiene múltiples aplicaciones en el campo del manejo de recursos acuáticos, por ejemplo, el nivel trófico de las capturas de peces ha servido como un indicador de la sobrepesca de los recursos al encontrarse que las tallas de captura han disminuido en los últimos 45 años y también el nivel trófico en un efecto (“Fishing down the food webs”) descrito por Pauly et al (Pauly y Christensen, 1995; Pauly et al., 2001). Conocer el nivel trófico de las especies es de gran utilidad al ser utilizado en modelos de predicción de pesca y para establecer cuotas de captura que permitan pescar los recursos de una forma balanceada (Stergiou y Karpouzi, 2001). Con otra aproximación, el cálculo del nivel trófico ha sido utilizado en el campo de la ecotoxicología y conservación para predecir la bio-acumulación de contaminantes como el caso de los organoclorados en los picudos y túnidos (Adams y Sterner, 2000). De forma general los estudios de transferencia de energía y posición trófica son llevados a cabo utilizando el análisis de $\delta^{15}\text{N}$, ya que es una herramienta más adecuada para comparar el recambio isotópico de los tejidos al incorporar la información de proteínas y lípidos (Perga y Gerdeaux, 2005)

Dada la importancia y el creciente interés por conocer el nivel trófico (Nt) de los organismos, es importante explorar métodos de fácil aplicación y que resuelvan la variabilidad del ambiente de forma confiable. En el presente estudio el cálculo del nivel trófico es utilizado para contrastar la información generada por dos aproximaciones metodológicas, el contenido estomacal y los isótopos estables de N en peces demersales.

A priori sabemos que la información de ambas aproximaciones corresponde a escalas de tiempo distintas. Por un lado el contenido estomacal está indicando la dieta en el momento de la captura del animal, mientras que la aproximación por isótopos estables está integrando de 2 a 3 meses de información aunque diferentes especies pueden tener diferentes tiempos de recambio. Para una especie cuyo alimento es predominantemente zooplancton Perga y Gerdeaux (2005) muestran un tiempo de

recambio de 4 a 5 meses, además de una temporada de nulo recambio que coincide con la temporada en la cual los organismos presentaron una tasa de crecimiento igual a cero. En otro caso (Herzka y Holt, 2000; Herzka et al., 2001) demostraron experimentalmente una tasa de recambio isotópico de 3 meses para un lenguado habitante de un ambiente estuarino que cambia de hábitos alimentarios durante su etapa larval y su asentamiento en el fondo.

Aunque la técnica de isótopos estables es comúnmente usada para el cálculo del Nt, algunos de sus supuestos básicos aún no han sido del todo entendidos. Algunas de las variables utilizadas para estimar el Nt son asumidas como constantes o tomadas de la literatura olvidando que la base de la cadena trófica y el enriquecimiento promedio del ambiente no son estáticas. A la fecha los análisis experimentales del recambio isotópico con respecto a la dieta son escasos como lo muestran revisiones recientes (Dalerum y Angerbjörn, 2005 y referencias en el texto; Martínez Del Rio et al., 2009; Wolf et al., 2009).

La regresión lineal entre el cálculo de ambas aproximaciones indican una estrecha relación aunque existen algunas especies en las cuales el Nt obtenido no coincidió en lo absoluto entre ambas aproximaciones (Figura 52). Con el fin de determinar cuáles especies fueron las que presentaron discrepancias se procedió a realizar una prueba de Mann-Whitney.

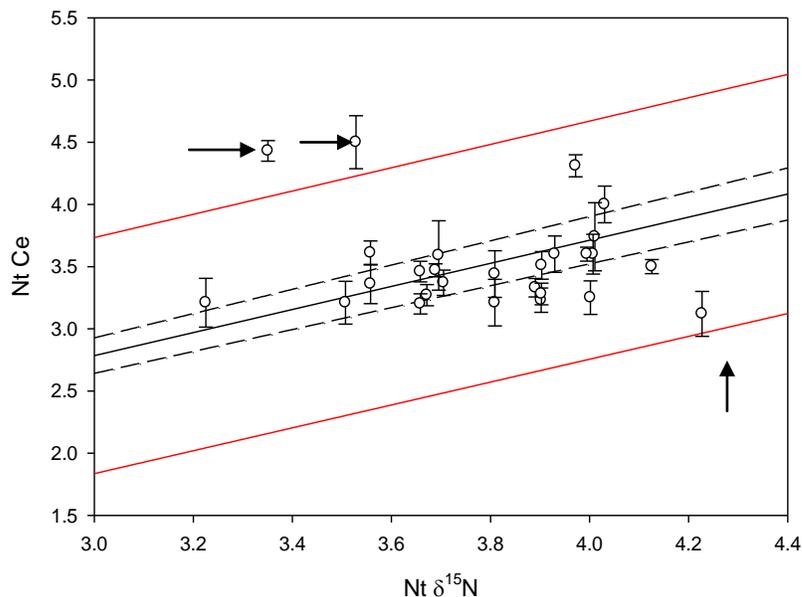


Figura 52. Regresión lineal del cálculo de Nivel trófico (Nt) utilizando $\delta^{15}\text{N}$ y el contenido estomacal. Las líneas punteadas representan el intervalo de confianza de 95 % y las líneas rojas el intervalo del valor esperado.

Para el caso de Marzo de 2006 las especies que presentaron diferencias estadísticas significativas entre ambas aproximaciones fueron *D. labarum* y *M. angustimanus*. Es importante resaltar que *M. angustimanus* fue catalogado con un Nt de 4.5 utilizando la aproximación de contenido estomacal debido a sus hábitos de depredador ictiófago en este estudio (Figura 23), y en el caso de *D. labarum*, la dieta estuvo compuesta predominantemente de eufausidos (%IRI > 90 %) y ocasionalmente de *P. planipes* (Figura 20). La especie que registró el mayor nivel trófico con $\delta^{15}\text{N}$ fue *L. stigmatistium*, que se alimentó frecuentemente de *P. planipes* y mayormente de teleósteos. Esta incongruencia entre los dos métodos permite resaltar la utilidad de cada uno de ellos. Por un lado el contenido estomacal muestra el carácter pelágico de *M. angustimanus*, mientras que señala los hábitos planctónicos de *D. labarum* con sus presas. Este rasgo no fue detectado por $\delta^{13}\text{C}$. La utilidad de $\delta^{13}\text{C}$ como indicador de ambiente pelágico o costero está basado en el hecho de que las plantas C_3 y C_4 poseen razones de distintivas de $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ debido al fraccionamiento que ocurre durante la fijación del carbono en la fotosíntesis (Tieszen et al., 1983 y referencias en el texto). Lo anterior de forma práctica es utilizado para conocer los movimientos de los

organismos en zonas en las cuales las fuentes de materia orgánica (producción primaria) son altamente contrastantes. Este argumento ha sido probado en lagunas costeras con fuerte aporte riberino (Fry et al., 2000; Alfaro, 2006; Alfaro et al., 2006; Alfaro, 2008).

El argumento anterior lleva a pensar que la utilización del $\delta^{13}\text{C}$ en un ambiente oceánico en el cual la influencia del material terrígeno es depreciable a lo largo del año puede producir resultados ambiguos al tratar de catalogar especies costeras y pelágicas. Es entonces cuando la aproximación de contenido estomacal adquiere gran peso.

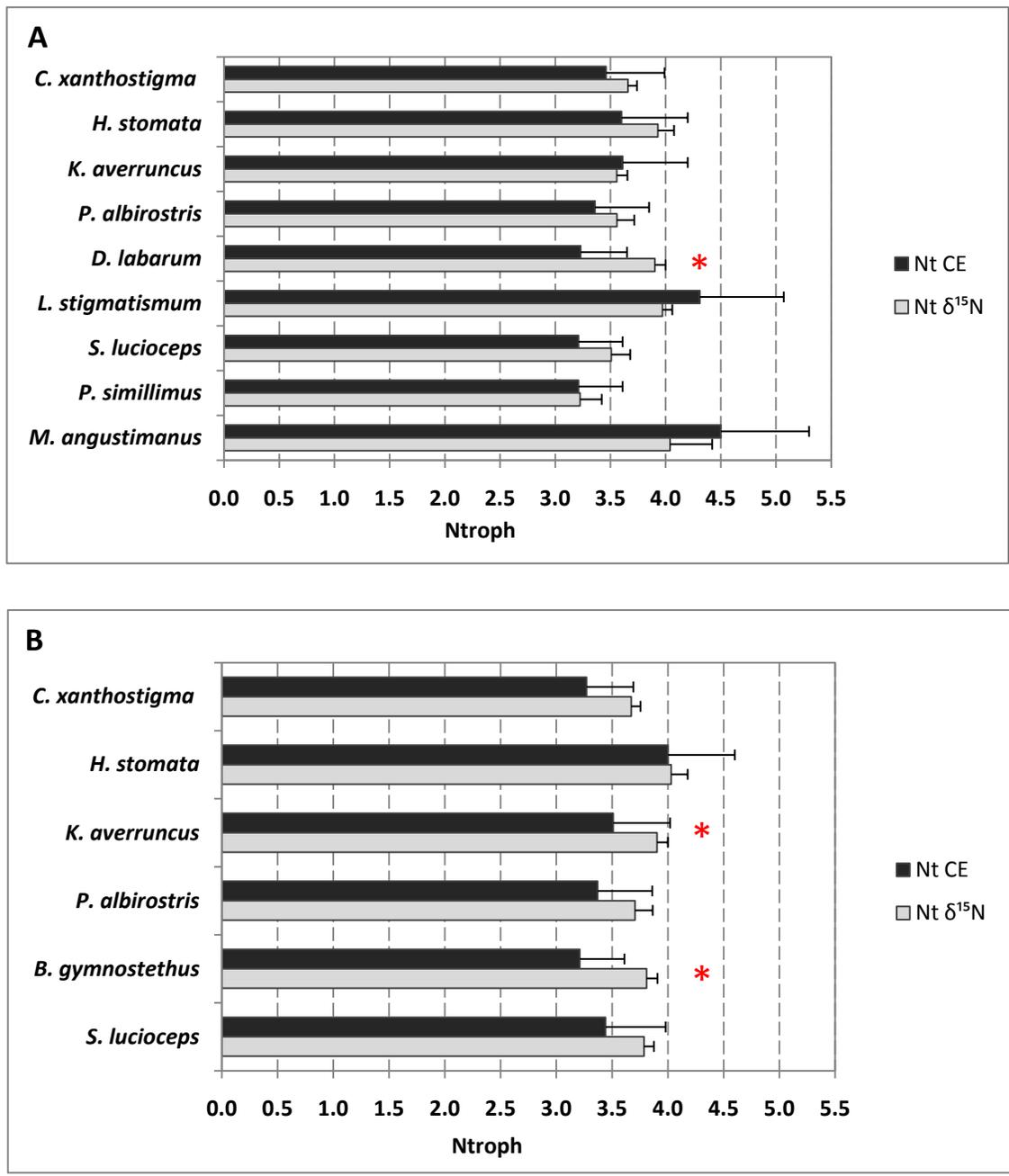


Figura 53. Comparación del nivel trófico calculado utilizando el contenido estomacal (Nt CE) y utilizando el $\delta^{15}\text{N}$ (Nt $\delta^{15}\text{N}$) durante Marzo (A) y Noviembre (B) de 2006. Los asteriscos muestran diferencias estadísticas (Mann-Whitney $_{\alpha = 0.05}$).

En el caso de Noviembre de 2006 dos especies presentaron diferencias estadísticas significativas en las dos aproximaciones (Figura 53). Para ambos casos la controversia resultó en que el Nt obtenido por el contenido estomacal resultó menor al estimado con $\delta^{15}\text{N}$.

Resulta interesante que la dieta de ambas especies estuvo dominada por Euphausiacea. Una revisión detallada de estos organismos permitió identificarlos como *Nyctiphanes simplex* (Jaime Gómez-Gutiérrez, Com. Pers). *Nyctiphanes simplex* es una de las especies dominantes del zooplancton de la región de la boca de Bahía Magdalena a lo largo del año (Gómez-Gutiérrez et al., 2001). Adams y Sterner (2000) observaron cambios en la señal de $\delta^{15}\text{N}$ en *Daphnia magna* a una tasa de $0.1 \text{ ‰ } \delta^{15}\text{N} \text{ día}^{-1}$ en experimentos de agotamiento de alimento. Es probable que *N. simplex* este incorporando la señal de $\delta^{15}\text{N}$ del material disuelto en el orden de semanas debido a su alta tasa metabólica y su posición baja en la cadena trófica, lo cual pudo haber permitido que el tiempo de integración de la señal isotópica en el tejido de los peces demersales colectados fuera suficiente para ser detectado.

Durante Marzo de 2007 se presentó el mayor número de diferencias estadísticas entre las dos aproximaciones de Nt (Figura 54 A). En los casos de *Bellator spp.*, *S. lucioceps* y *C. xanthostigma*, la discrepancia fue el resultado del dominio de *N. simplex* en la dieta de las estas tres especies. El mismo caso ocurrió para la merluza *M. angustimanus*, en la cual su posición trófica asignada como depredador ictiófago no concuerda con un valor menor asignado al incorporar el $\delta^{15}\text{N}$. Probablemente esto se relaciona con el tiempo que toma la integración de la señal isotópica de los peces consumidos durante el periodo del muestreo, manifestándose la señal de otros alimentos como la langostilla y los eufausidos, presas comunes depredadas por la merluza en esta área (Balart y Castro-Aguirre, 1995). Durante Noviembre de 2007 las diferencias mostradas por *C. xanthostigma* y *Z. elater* responden al dominio de *N. simplex* en la dieta del primero, y una mezcla de igual importancia entre el eufausido *N. simplex* y gusanos poliquetos en el segundo con contribuciones parecidas.

Este ejercicio sirvió para señalar que el cálculo del Nt puede ser utilizado como un indicador de la dinámica de los ambientes muestreados bajo distintos objetivos. La incorporación del Δ calculado y el $\delta^{15}\text{N}$ de la base de la cadena trófica del área permitieron asignar valores congruentes con la dinámica del ciclo del N del ambiente estudiado. Por otro lado, aunque el contenido estomacal es indicador clásico de la posición que ocupa una especie en la cadena trófica, el parámetro es dinámico;

algunas especies como el caso de *C. xanthostigma* y *Z. elater* cambiaron drásticamente de alimentación de tipo bentónico a pelágico y viceversa.

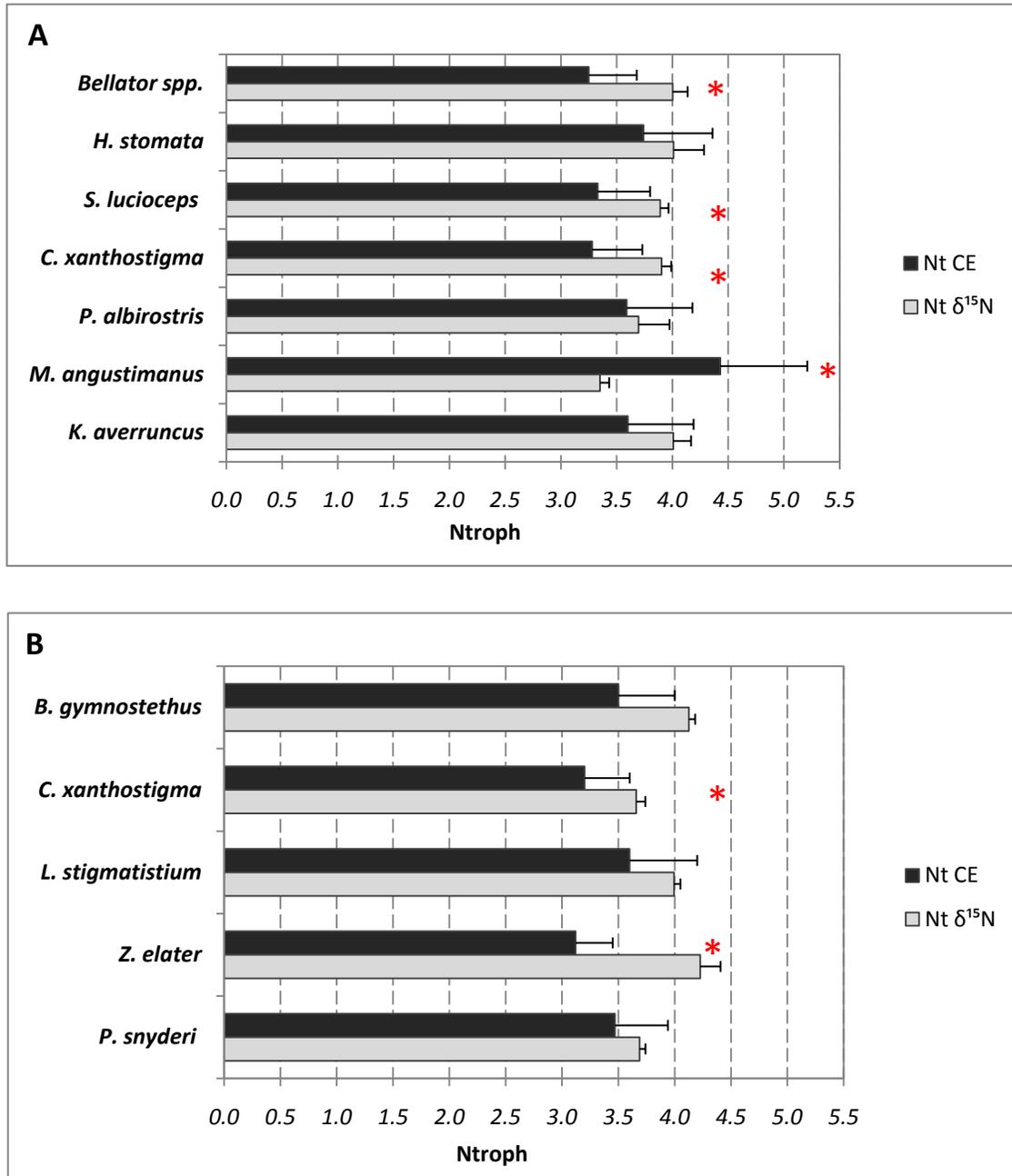


Figura 54. Comparación del nivel trófico calculado utilizando el contenido estomacal (Nt CE) y utilizando el $\delta^{15}\text{N}$ (Nt $\delta^{15}\text{N}$) durante Marzo (A) y Noviembre (B) de 2007. Los asteriscos muestran diferencias estadísticas (Mann-Whitney $_{\alpha = 0.05}$).

Si bien el contenido estomacal ha sido tomado con cautela al reflejar una fotografía instantánea de lo que consume la especie, y por lo tanto su estimación de nivel trófico, también el cálculo del Nt utilizando $\delta^{15}\text{N}$ y los elementos que involucran su cálculo, deberían serlo con mayor razón, ya que refleja lo que asimila, y el Δ y el $\delta^{15}\text{N}$ de la base de la cadena trófica no son estáticos.

10 CONCLUSIONES

En el presente estudio se detectó una marcada estacionalidad en TSM, Chla, y PPN lo cual es característico de la ZTTT. Una producción primaria anómalamente alta fue observada en Marzo de 2006, que fue contrastante con un período de baja productividad durante Marzo de 2007. El incremento en la TSM de ~ 3 °C fue en respuesta a condiciones del fenómeno “El Niño” evidenciadas por la presencia inusual del Agua sub Superficial ecuatorial (ASSE) durante este período.

Los índices de diversidad calculados para la captura de peces demersales fueron más altos durante Marzo en comparación con Noviembre, lo anterior está relacionado con la época de mayor productividad de la región, sin embargo es difícil explicar una mayor diversidad en la temporada de Marzo de 2007 cuando la productividad estacional decreció considerablemente. De los índices de diversidad explorados, el índice de Margalef fue el que presentó mayor congruencia con los parámetros físicos (concentración de Chla, índice de Bakun, índice MEI, y TSM).

Todas las especies capturadas fueron clasificadas como depredadores especialistas (Tabla 17), lo cual indica que la dieta se mantuvo siempre dominada por una o dos especies. Las especies con mayor presencia en los contenidos estomacales variaron de acuerdo a la temporada. De forma general el factor de agrupamiento y de traslape trófico estuvo constituido por la presencia de *N. simplex*, *P. planipes* y decápodos sin identificar.

La presencia de *P. planipes* en la dieta de las especies demersales capturadas fue mayor en Marzo de 2006. Las tallas en los estómagos variaron estacionalmente encontrándose las de mayor talla durante la temporada de Marzo, y esto es consistente con la temporada de reproducción de este galatheido. La señal isotópica de la langostilla cambia con respecto a la temporada y a la talla, y su señal es transferida a las especies que la depredan.

En los casos en los cuales los peces demersales mantuvieron dietas constantes se pudo detectar cambios estadísticamente significativos en $\delta^{13}\text{C}$ y $\delta^{15}\text{N}$, probablemente como respuesta a un tiempo de integración mayor en la señal isotópica que permitió su

detección. En casos en los cuales la dieta fue variada (sin ser generalistas) o distinta entre una temporada y otra, las diferencias estadísticas ($\alpha = 0.05$) no fueron detectadas, probablemente como respuesta de las distintas fuentes de C y N, aunque esto hubiera ocasionado un aumento en la desviación estándar de estos parámetros, lo cual no sucedió.

En el caso de los mamíferos marinos varados el $\delta^{13}\text{C}$ de *T. truncatus* y *Z. californianus* fue constante intra- e interespecíficamente. El $\delta^{15}\text{N}$ presentó diferencias estadísticas entre *T. truncatus* y *Z. californianus* en todos los casos. Lo cual apunta al lobo marino como el ápice de la cadena trófica en la región.

La exploración del acoplamiento de $\delta^{15}\text{N}$ entre el componente biótico y abiótico sugiere que el material disuelto con una señal alta de $\delta^{15}\text{NO}_3^-$ (6 – 13 ‰) es transmitido a lo largo de la cadena trófica, lo cual origina valores típicos de zona de desnitrificación en la cadena trófica de la ZTTT.

El cálculo de Δ para cada temporada, además de los datos de la base de la cadena trófica, permitieron estimar el Nt de las especies y contrastarlo con el Nt obtenido con el contenido estomacal. Esta comparación permitió encontrar discrepancias y rutas distintas de N. Los peces de hábitos piscívoros fueron catalogados con un menor Nt utilizando el $\delta^{15}\text{N}$, lo cual responde a una fuente pelágica mientras que organismos que se alimentaron continuamente de *N. simplex*, *P. planipes* o decápodos sin identificar fueron catalogados con un mayor Nt.

Los datos sugieren que el efecto del FEN moderado registrado en Marzo de 2007 tuvo un efecto negativo en la productividad de la ZTTT. El aumento en el espectro trófico en conjunto con la disminución de la biomasa de *P. planipes* puede ser interpretado como un mayor esfuerzo de las especies demersales por cubrir sus requerimientos energéticos. Por otro lado la disminución en la señal isotópica de los organismos con mayor capacidad de desplazamiento (*M. angustimanus* y mamíferos marinos), así como la disminución en su Nt sugiere que registraron el impacto de este evento aunque de forma contraria al ambiente demersal.

Aunque se puede argumentar que estas especies se mantienen como especialistas, la dieta puede ser distinta entre temporadas, aunque es importante señalar que la gran mayoría se alimenta de organismos asociados al bentos con un gran dominio de los crustáceos de diversos órdenes. La langostilla es un elemento clave en la dieta de los peces demersales. Esta especie se encontró en mayor abundancia durante Marzo de 2006, lo cual fue consistente con la mayor presencia de este organismo en la dieta de los peces colectados. Una de causas del cambio en la señal de $\delta^{15}\text{N}$ en los organismos es el cambio de dieta.

Otra evidencia de la preferencia por un mismo grupo de organismos en la dieta puede ser el nivel trófico de las especies ya refleja la posición de las especies en la cadena trófica. En el caso de los peces demersales colectados durante las distintas temporadas el nivel trófico se mantuvo entre 3.2 y 3.6 (Tabla 3) con excepción de *M. angustimanus*, especie que tuvo el mayor nivel trófico de las especies capturadas (4.5 y 4.8, Tabla 3), relacionado con su alimentación fundamentalmente basada en otros peces. Sin embargo esta especie a pesar del nivel trófico mayor no registró la mayor señal de $\delta^{15}\text{N}$. Es claro que las diferencias en $\delta^{15}\text{N}$ no son debidas a un cambio de nivel trófico. La probable explicación del cambio en la señal de este isótopo puede encontrarse en un cambio en la señal de la materia orgánica particulada que es transferida a los distintos niveles tróficos.

En conclusión este estudio corrobora la hipótesis inicial, de que el forzamiento oceanográfico presente en la ZTTT afecta la cadena trófica desde la base hasta los depredadores tope, aunque la evidencia fue contundente cuando en la cadena trófica hay eslabones que se alimentan preferentemente de presas pelágicas como eufaúsidos y langostilla, que rápidamente fijan la señal isotópica del nitrógeno del material orgánico particulado. Se resaltan dos especies (*K. averruncis* y *C. xanthostigma*) encontradas en las 4 temporadas de muestreo y que registraron diferencias en su contenido estomacal (tallas de langostilla en el caso de *K. averruncus* y dinámica trófica en el caso de *C. xanthostigma*) y en su señal de $\delta^{13}\text{C}$ y $\delta^{15}\text{N}$. El análisis de contenido estomacal, aunque demostró la variación estacional y/o interanual en su alimentación, no permite evidenciar el origen de dichos cambios, por lo tanto se destaca la importancia de la

utilización de las dos técnicas en estudios de dinámica trófica. Asimismo, este trabajo demuestra la importancia de utilizar la propia información para generar el delta entre depredador y presa al aplicar la ecuación propuesta por Hobson et al.(2002), ya que permite apreciar las diferencias fraccionales dentro de cada nivel trófico estimado.

11 REFERENCIAS

- Adams, T.S. y Sterner, R.W., 2000. The effect of dietary nitrogen content on trophic level ^{15}N enrichment. *Limnology and Oceanography*, 45(3): 601-607.
- Aguilar, C., González-Sansón, G., Faloh, I. y Curry, R.A., 2008. Spatial variation in stable isotopes ($\delta^{13}\text{C}$ and $\delta^{15}\text{N}$) in marine fish along the coast of Havana City: Evidence of human impacts from harbor and river waters. *Journal of Coastal Research*, 24(5): 1281-1288.
- Aguíñiga, S., 2000. Aspectos de la geoquímica del material orgánico en el BAC del Golfo de Ulloa, B.C.S. En: D. Lluch-Belda, S.E. Lluch-Cota, J. Elorduy and G. Ponce (Eds.), *BACs: Centros de Actividad Biológica del Pacífico Mexicano*. Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, La Paz, Mexico, pp. 111-123.
- Alfaro, A.C., 2006. Tidal migration influences the zonation of grazing snails (*Turbo smaragdus*) in a mangrove-seagrass estuary, Northern New Zealand. *Estuaries and Coasts*, 29(5): 731-736.
- Alfaro, A.C., 2008. Diet of *Littoraria scabra*, while vertically migrating on mangrove trees: Gut content, fatty acid, and stable isotope analyses. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 79(4): 718-726.
- Alfaro, A.C., Thomas, F., Sergent, L. y Duxbury, M., 2006. Identification of trophic interactions within an estuarine food web (northern New Zealand) using fatty acid biomarkers and stable isotopes. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 70(1-2): 271-286.
- Allen, G.R. y Robertson, D.R., 1994. Fishes of the tropical eastern Pacific. University of Hawaii Press, 332 pp.
- Altabet, M.A., 2001. Nitrogen isotopic evidence for micronutrient control of fractional NO_3^- utilization in the equatorial Pacific. *Limnology and Oceanography*, 46(2): 368-380.

Altabet, M.A., PilskaIn, C., Thunell, R., Pride, C., Sigman, D., Chavez, F. y Francois, R., 1999. The nitrogen isotope biogeochemistry of sinking particles from the margin of the Eastern North Pacific. *Deep-Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers*, 46(4): 655-679.

Arntz, W.E., Gallardo, V.A., Gutiérrez, D., Isla, E., Levin, L.A., Mendo, J., Neira, C., Rowe, G.T., Tarazona, J. y Wolff, M., 2006. El Niño and similar perturbation effects on the benthos of the Humboldt, California, and Benguela Current upwelling ecosystems. *Advances in Geosciences*, 6: 243-265.

Aurioles-Gamboa, D., 1992. Inshore-offshore movements of pelagic red crabs *Pleuroncodes planipes* (Decapoda, Anomura, Galatheididae) off the Pacific coast of Baja California Sur, Mexico. *Crustaceana*, 62(1): 71-84.

Aurioles-Gamboa, D., 1995. Distribución y abundancia de la langostilla. En: D. Aurioles-Gamboa and E. Balart (Eds.), *La langostilla: Biología, ecología y aprovechamiento*. Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, La Paz, Baja California Sur.

Aurioles-Gamboa, D. y Balart, E. (Eds.), 1995. *La langostilla: Biología, Ecología y Aprovechamiento*, La Paz, Baja California Sur México, 233 pp.

Aurioles-Gamboa, D., Castro-Gonzalez, M.I. y Perez-Flores, R., 1994. Annual mass strandings of pelagic red crabs, *Pleuroncodes planipes* (Crustacea: Anomura: Galatheididae), in Bahia Magdalena, Baja California Sur, Mexico. *Fishery Bulletin*, 92(2): 464-470.

Aurioles-Gamboa, D., Newsome, S., Salazar-Pico, S. y Koch, P.L., 2009. Stable isotope differences between sea lions of the genus *Zalophus* from the Gulf of California and Galapagos Islands. *Journal of Mammalogy*, 90(6): 1410-1420.

Aurioles-Gamboa, D. y Perez-Flores, R., 1997. Seasonal and bathymetric changes in feeding habits of the benthic red crab *Pleuroncodes planipes* (Decapoda, Anomura, Galatheididae) off the Pacific Coast of Baja California Sur, Mexico. *Crustaceana*, 70(3): 272-287.

Azam, F., Fenchel, T., Field, J. y Meyer-Reil, L., 1982. The ecological role of water column microbes in the sea. *Marine Ecology Progress Series*, 10: 257-263.

Bakun, A., 1990. Global Climate Change and Intensification of Coastal Ocean Upwelling. *Science*, 247(4939): 198-201.

Balart, E. y Castro-Aguirre, J., 1995. Estimación del impacto de la depredación de la merluza sobre la langostilla. En: D. Aurióles and E. Balart (Eds.), *La langostilla: Biología, Ecología y aprovechamiento*. Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, La Paz, BCS, pp. 233.

Balart, E.F., 1996. Recurso Langostilla. En: M. Casas Valdez and G. Ponce Díaz (Eds.), *Estudio del Potencial Pesquero y Acuícola de Baja California Sur*, pp. 167-180.

Balart, E.F., Laudino-Santillán, J., Sánchez-Aguilar, D., Campos-Dávila, L. y Amador Silva, E., 2002. Red crab and soft-bottom fishes along the Pacific shelf off the western coast of Baja California Sur during El Niño 1997-98. *Investigaciones Marinas, Valparaíso*, Supplement Symposium: 133-134.

Balart Páez, E.F., 2005. Biología y ecología de la merluza bajacaliforniana (*Merluccius angustimanus* Garman, 1899) en la costa occidental de Baja California Sur, México. Tesis de, Universidad Autónoma de Buevo León, Monterrey, 153 pp.

Bautista-Vega, A., 2002. Alimentación del lobo marino de California (*Zalophus californianus californianus*, Lesson, 1828), y su relación con los pelágicos menores en Bahía Magdalena, B. C. S., México. Tesis de, Universidad Nacional Autónoma de México, Mexico City, 77 pp.

Behrenfeld, M.J. y Falkowski, P.G., 1997. Photosynthetic rates derived from satellite-based chlorophyll concentration. *Limnology and Oceanography*, 42(1): 1-20.

Beman, J.M., Popp, B.N. y Francis, C.A., 2008. Molecular and biogeochemical evidence for ammonia oxidation by marine Crenarchaeota in the Gulf of California. *ISME Journal*, 2(4): 429-441.

Bizzarro, J., 2008. A review of the physical and biological characteristics of the Bahia Magdalena Lagoon Complex (Baja California Sur, México). *Bull. Southern California Acad. Sci.*, 107(1): 1-24.

Bode, A., Alvarez-Ossorio, M.T., Cunha, M.E., Garrido, S., Peleteiro, J.B., Porteiro, C., Valdés, L. y Varela, M., 2007. Stable nitrogen isotope studies of the pelagic food web on the Atlantic shelf of the Iberian Peninsula. *Progress in Oceanography*, 74(2-3): 115-131.

Boyd, C., M., 1967. Benthic and pelagic habitats of the red crab *Pleuroncodes planipes* *Pacific Science*, 21: 394-403.

Brandes, J.A. y Devol, A.H., 2002. A global marine-fixed nitrogen isotopic budget: Implications for Holocene nitrogen cycling. *Global Biogeochemical Cycles*, 16(4): -.

Brandes, J.A., Devol, A.H. y Deutsch, C., 2007. New Developments in the Marine Nitrogen Cycle. *Chemical Reviews*, 107(2): 577-589.

Brandes, J.A., Devol, A.H., Yoshinari, T., Jayakumar, D.A. y Naqvi, S.W.A., 1998. Isotopic composition of nitrate in the central Arabian Sea and eastern tropical North Pacific: A tracer for mixing and nitrogen cycles. *Limnology and Oceanography*, 43(7): 1680-1689.

Brusca, R.C., 1980. Common intertidal invertebrates of the Gulf of California. University of Arizona Press, Tucson, AZ, 513 pp.

Busquets, G., 2008. Variabilidad de isótopos estables de nitrógeno y carbono en piel de ballena azul (*Balaenoptera musculus*). Tesis de Maestría en Ciencias, Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas, La Paz, Baja California Sur, 102 pp.

Casas Valdez, M. y Ponce Diaz, G. (Eds.), 1996. *Estudio del Potencial Pesquero y Acuícola de Baja California Sur*, 2. Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S.C, La paz, BCS, 693 pp.

Chavez, F.P. y Messié, M., 2009. A comparison of Eastern Boundary Upwelling Ecosystems. *Progress in Oceanography*, 83(1-4): 80-96.

Cline, J.D. y Kaplan, I.R., 1975. Isotopic fractionation of dissolved nitrate during denitrification in the eastern tropical north pacific ocean. *Marine Chemistry*, 3(4): 271-299.

Clothier, C.R., 1951. A key to some Southern California fishes based on vertebral characters. *Fish Bulletin*, No. 79: pp. 1-83.

Corbisier, T.N., Soares, L.S.H., Petti, M.A.V., Muto, E.Y., Silva, M.H.C., McClelland, J. y Valiela, I., 2006. Use of isotopic signatures to assess the food web in a tropical shallow marine ecosystem of Southeastern Brazil. *Aquatic Ecology*, 40(3): 381-390.

Cortés, E., 1997. A critical review of methods of studying fish feeding based on analysis of stomach contents: Application to elasmobranch fishes. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 54(3): 726-738.

Dalerum, F. y Angerbjörn, A., 2005. Resolving temporal variation in vertebrate diets using naturally occurring stable isotopes. *Oecologia*, 144(4): 647-658.

Dehn, L.A., Sheffield, G.G., Follmann, E.H., Duffy, L.K., Thomas, D.L. y O'Hara, T.M., 2007. Feeding ecology of phocid seals and some walrus in the Alaskan and Canadian Arctic as determined by stomach contents and stable isotope analysis. *Polar Biology*, 30(2): 167-181.

Devol, A.H., 2008. Denitrification including Anammox. En: D.G. Capone, D.A. Bronk, M.R. Mulholland and E.J. Carpenter (Eds.), *Nitrogen in the Marine Environment (2nd Edition)*. Academic Press, San Diego, pp. 263-302.

Dugdale, R.C., Morel, A., Bricaud, A. y Wilkerson, F.P., 1989. Modeling new production in upwelling centers: a case study of modeling new production from remotely sensed temperature and color. *Journal of Geophysical Research*, 94(C12).

Dugdale, R.C. y Wilkerson, F.P., 1989. New production in the upwelling center at Point Conception, California: temporal and spatial patterns. *Deep-Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers*, 36(7): 985-1007.

Dugdale, R.C., Wilkerson, F.P. y Morel, A., 1990. Realization of new production in coastal upwelling areas: a means to compare relative performance. *Limnology & Oceanography*, 35(4): 822-829.

Durazo, R., 2009. Climate and upper ocean variability off Baja California, Mexico: 1997-2008. *Progress in Oceanography*, 83(1-4): 361-368.

Durazo, R. y Baumgartner, T.R., 2002. Evolution of oceanographic conditions off Baja California: 1997-1999. *Progress in Oceanography*, 54(1-4): 7-31.

Etnoyer, P., Canny, D., Mate, B.R., Morgan, L.E., Ortega-Ortiz, J.G. y Nichols, W.J., 2006. Sea-surface temperature gradients across blue whale and sea turtle foraging trajectories off the Baja California Peninsula, Mexico. *Deep-Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography*, 53(3-4): 340-358.

Feely, R.A., Sabine, C.L., Hernandez-Ayon, J.M., Ianson, D. y Hales, B., 2008. Evidence for upwelling of corrosive "acidified" water onto the continental shelf. *Science*, 320(5882): 1490-1492.

Fischer, W., Krupp F., Schneider W., Sommer C., K.E., C. y V.H., N., 1995a. Guia FAO para la Identificacion de Especies para los Fines de la Pesca - Pacifico Centro-Oriental. Vertebrados Parte 1. FAO Species Identification Field Guide for Fishery Purposes II.

Fischer, W., Krupp F., Schneider W., Sommer C., K.E., C. y V.H., N., 1995b. Guia FAO para la Identificacion de Especies para los Fines de la Pesca - Pacifico Centro-Oriental. Vertebrados Parte 2. FAO Species Identification Field Guide for Fishery Purposes III.

Fry, B., 1988. Food web structure on Georges Bank from stable C, N, and S isotopic compositions. *Limnology & Oceanography*, 33(5): 1182-1190.

Fry, B., Bern, A.L., Ross, M.S. y Meeder, J.F., 2000. delta N-15 studies of nitrogen use by the red mangrove, *Rhizophora mangle* L. in South Florida. *Estuarine Coastal and Shelf Science*, 50(2): 291-296.

Funes Rodríguez, R., Gómez-Gutierrez, J. y Palomares-García, R. (Eds.), 2007. *Estudios ecológicos en Bahía Magdalena*. Instituto Politécnico Nacional, México city, 346 pp.

Garth, J.S. y Stephenson, W., 1966. Brachyura of the Pacific coast of America Brachyrrhyncha: Portunidae. *Allan Hancock Monogr. Mar. Biol.*, No. 1: 1-154.

Gaxiola-Castro, G., Durazo, R., Lavaniegos, B., De La Cruz-Orozco, M.E., Millán-Núñez, E., Soto-Mardones, L. y Cepeda-Morales, J., 2008. Pelagic ecosystem response to interannual variability off Baja California (Respuesta del ecosistema pelágico a la variabilidad interanual del océano frente a Baja California). *Ciencias Marinas*, 34(2): 263-270.

Gervais, F. y Riebesell, U., 2001. Effect of phosphorus limitation on elemental composition and stable carbon isotope fractionation in a marine diatom growing under different CO₂ concentrations. *Limnology and Oceanography*, 46(3): 497-504.

Gilly, W.F., 2006. Horizontal and vertical migration of *Dosidiscus gigas* in the Gulf of California revealed by electronic tagging, *Global ocean ecosystem dynamics*, Honolulu, Hawaii.

Glynn, P., W., 1961. The first recorded mass stranding of pelagic red crabs, *Pleuroncodes planipes*, at Monterey Bay California since 1959. With notes on their biology. *California fish and Game*, 47(1): 97-101.

Gómez-Gutiérrez, J., Martínez-Gómez, S. y Robinson, C.J., 2007. Influence of thermohaline fronts forced by tides on near-surface zooplankton aggregation and community structure in Bahía Magdalena, Mexico. *Marine Ecology Progress Series*, 346: 109-125.

Gómez-Gutiérrez, J., Palomares-García, R., Hernández-Trujillo, S. y Carballido-Carranza, A., 2001. Community structure of zooplankton in the main entrance of Bahía Magdalena, México during 1996. *Revista de Biología Tropical*, 49(2): 545-558.

González-Rodríguez, E., 2008. Variabilidad de la productividad primaria en el Golfo de Ulloa, costa occidental de Baja California. Tesis de Doctorado en Ciencias Marinas, Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas La Paz, Baja California Sur, 156 pp.

Graham, B.S., Grubbs, D., Holland, K. y Popp, B.N., 2007. A rapid ontogenetic shift in the diet of juvenile yellowfin tuna from Hawaii. *Marine Biology*, 150(4): 647-658.

Graham, M.C., Eaves, M.A., Farmer, J.G., Dobson, J. y Fallick, A.E., 2001. A study of carbon and nitrogen stable isotope and elemental ratios as potential indicators of source and fate of organic matter in sediments of the Forth Estuary, Scotland. *Estuarine Coastal and Shelf Science*, 52(3): 375-380.

Granek, E., Compton, J. y Phillips, D., 2009. Mangrove-exported nutrient incorporation by sessile coral reef invertebrates. *Ecosystems*, 12: 462-472.

Gruber, N., 2004. The dynamics of the marine nitrogen cycle and its influence on atmospheric CO₂. En: M. Follows and T. Oguz (Eds.), *The Ocean Carbon Cycle and Climate*. Kluwer Academic, Dordrecht, pp. 97-148.

Gruber, N., 2008. The Marine Nitrogen Cycle: Overview and Challenges. En: D.G. Capone, D.A. Bronk, M.R. Mulholland and E.J. Carpenter (Eds.), *Nitrogen in the Marine Environment (2nd Edition)*. Academic Press, San Diego, pp. 1-50.

Gruber, N. y Sarmiento, J.L., 1997. Global patterns of marine nitrogen fixation and denitrification. *Global Biogeochemical Cycles*, 11(2): 235-266.

Helly, J.J. y Levin, L.A., 2004. Global distribution of naturally occurring marine hypoxia on continental margins. *Deep-Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers*, 51(9): 1159-1168.

Herzka, S.Z. y Holt, G.J., 2000. Changes in isotopic composition of red drum (*Sciaenops ocellatus*) larvae in response to dietary shifts: potential applications to settlement studies. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 57(1): 137-147.

Herzka, S.Z., Holt, S.A. y Holt, G.J., 2001. Documenting the settlement history of individual fish larvae using stable isotope ratios: model development and validation. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 265(1): 49-74.

Hickey, B.M., 1979. The California current system-hypotheses and facts. *Progress in Oceanography*, 8(4): 191-279.

Hickey, B.M., 1998. Coastal oceanography of Western North America from the tip of Baja California to Vancouver Is. En: K.H. Brink and A.R. Robinson (Eds.), *The Sea*. Wiley and Sons, Inc, pp. 345 - 395

Hobson, K.A., Fisk, A., Karnovsky, N., Holst, M., Gagnon, J.M. y Fortier, M., 2002. A stable isotope ($\delta^{13}\text{C}$, $\delta^{15}\text{N}$) model for the North Water food web: Implications for evaluating trophodynamics and the flow of energy and contaminants. *Deep-Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography*, 49(22-23): 5131-5150.

Hobson, K.A., Sease, J.L., Merrick, R.L. y Piatt, J.F., 1997. Investigating trophic relationships of pinnipeds in Alaska and Washington using stable isotope ratios of nitrogen and carbon. *Marine Mammal Science*, 13(1): 114-132.

Hobson, K.A. y Welch, H.E., 1992. Determination of trophic relationships within a High Arctic marine food web using delta super(13)C and delta super(15)N analysis. *Marine ecology progress series. Oldendorf*, 84(1): 9-18.

Hyslop, E.J., 1980. Stomach contents analysis - a review of methods and their application, *Journal of Fish Biology*, pp. 411-429.

Iken, B., Brey, T., Wand, U., Voight, J. y Junghans, P., 2001. Food web structure of the benthic community at the Porcupine Abyssal Plain (NE, Atlantic): A stable isotope analysis *Progress in Oceanography*, 50: 383-405.

Inada, T., 1981. Studies on the meluroid fishes. *Bulletin Far Seas Fisheries Research Laboratory*, 18: 1-172.

Karl, D.M., Bidigare, R.R., Church, M.J., Dore, J.E., Letelier, R.M., Mahaffey, C. y Zehr, J.P., 2008. The Nitrogen Cycle in the North Pacific Trades Biome: An Evolving

Paradigm, *Nitrogen in the Marine Environment (2nd Edition)*. Academic Press, San Diego, pp. 705-769.

Kienast, S.S., Calvert, S.E. y Pedersen, T.F., 2002. Nitrogen isotope and productivity variations along the northeast Pacific margin over the last 120 kyr: Surface and subsurface paleoceanography. *Paleoceanography*, 17(4): 7.1-7.17.

Knowles, R., 1982. Denitrification. *Microbiological Reviews*, 46(1): 43-70.

Krebs, C.J., 1994. Ecology: the experimental analysis of distribution and abundance. HarperCollins College, Michigan, 801 pp.

Kuypers, M.M.M., Silekers, A.O., Lavik, G., Schmid, M., Jørgensen, B.B., Kuenen, J.G., Sinninghe Damsté, J.S., Strous, M. y Jetten, M.S.M., 2003. Anaerobic ammonium oxidation by anammox bacteria in the Black Sea. *Nature*, 422(6932): 608-611.

Lavaniegos, B.E., Jiménez-Pérez, L.C. y Gaxiola-Castro, G., 2002. Plankton response to El Niño 1997-1998 and La Niña 1999 in the southern region of the California Current. *Progress in Oceanography*, 54(1-4): 33-58.

Le Loc'h, F., Hily, C. y Grall, J., 2008. Benthic community and food web structure on the continental shelf of the Bay of Biscay (North Eastern Atlantic) revealed by stable isotopes analysis. *Journal of Marine Systems*, 72(1-4): 17-34.

Lea, R. y Rosenblatt, R., 2000. Observations on fishes associated with the 1997-1998 El Niño off California. . *California Cooperative Oceanic Fisheries Investigations Report*, 41: 117-129.

Levins, R., 1968. Evolution in a changing environments. Princeton University Press, Princeton, New Jersey, 120 pp.

Lleonart, J., Salart, J. y Macpherson, E., 1983. Efecto del canibalismo en la población de *Merluccius capensis* en la división 1.5. *Collection of Scientific Papers. International Commission for the Southeast Atlantic Fisheries*, 10: 111-128.

Lluch-Belda, D., 2000. Centros de Actividad Biológica en la Costa Occidental de Baja California. En: D. Lluch-Belda, S.E. Lluch-Cota, J. Elorduy and G. Ponce (Eds.), *BACs: Centros de Actividad Biológica del Pacífico Mexicano*. Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste

Centro interdisciplinario de Ciencias Marinas del IPN

Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, La Paz, México, pp. 49 - 64.

Lluch-Belda, D., Hernandez-Rivas, M.E., Saldierna-Martinez, R. y Guerrero-Caballero, R., 2000. Sea surface temperature variability at Magdalena Bay, Baja California Sur, Mexico. *Oceanides.*, 15(1): 1-23.

Lluch-Belda, D., Lluch-Cota, D.B. y Lluch-Cota, S.E., 2003. Baja California's biological transition zones: Refuges for the California sardine. *Journal of Oceanography*, 59(4): 503-513.

Lluch-Belda, D., Lluch-Cota, D.B. y Lluch-Cota, S.E., 2005. Changes in marine faunal distributions and ENSO events in the California Current. *Fisheries Oceanography*, 14(6): 458-467.

Logan, J.M., Jardine, T.D., Miller, T.J., Bunn, S.E., Cunjak, R.A. y Lutcavage, M.E., 2008. Lipid corrections in carbon and nitrogen stable isotope analyses: Comparison of chemical extraction and modelling methods. *Journal of Animal Ecology*, 77(4): 838-846.

Logan, J.M. y Lutcavage, M.E., 2008. A comparison of carbon and nitrogen stable isotope ratios of fish tissues following lipid extractions with non-polar and traditional chloroform/methanol solvent systems. *Rapid Communications in Mass Spectrometry*, 22(7): 1081-1086.

Longhurst, A., 2004. The answers must be the red crabs, of course. *Oceanography*, 17(2): 2.

Longhurst, A., R., 1968. Distribution of the larvae of *Pleuroncodes planipes* in the California Current. *Limnology and Oceanography*, 13(1): 143-155.

Lopez-Ibarra, A., 2008. Estructura trófica de los copépodos pelágicos en el Océano Pacífico Oriental Tropical Tesis de Doctorado en Ciencias Marinas, Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas, La Paz, Baja California Sur, 107 pp.

Lourey, M.J., Trull, T.W. y Sigman, D.M., 2003. Sensitivity of delta N-15 of nitrate, surface suspended and deep sinking particulate nitrogen to seasonal nitrate depletion in the Southern Ocean. *Global Biogeochemical Cycles*, 17(3): -.

Lyle, M., Koizumi, I., Delaney, M.L. y Barron, J.A., 2000. Sedimentary record of the California Current system, middle Miocene to Holocene: A synthesis of Leg 167 results. *Proceedings of the Ocean Drilling Program: Scientific Results*, 167: 341-376.

MacNeil, M.A., Drouillard, K.G. y Fisk, A.T., 2006. Variable uptake and elimination of stable nitrogen isotopes between tissues in fish. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 63(2): 345-353.

MacNeil, M.A., Skomal, G.B. y Fisk, A.T., 2005. Stable isotopes from multiple tissues reveal diet switching in sharks. *Marine Ecology Progress Series*, 302: 199-206.

Mahaffey, C., Michaels, A.F. y Capone, D.G., 2005. The conundrum of marine N₂ fixation. *American Journal of Science*, 305(6-8 SPEC. ISS.): 546-595.

Margalef, R., 1957. La teoría de la información en Ecología. *Memorias de la Real Academia de Ciencias y Artes de Barcelona*, 32(373-449).

Martínez Del Rio, C., Wolf, N., Carleton, S.A. y Gannes, L.Z., 2009. Isotopic ecology ten years after a call for more laboratory experiments. *Biological Reviews*, 84(1): 91-111.

McClelland, J.W. y Valiela, I., 1998. Changes in food web structure under the influence of increased anthropogenic nitrogen inputs to estuaries. *Marine Ecology Progress Series*, 168: 259-271.

McClelland, J.W., Valiela, I. y Michener, R.H., 1997. Nitrogen-stable isotope signatures in estuarine food webs: A record of increasing urbanization in coastal watersheds. *Limnology and Oceanography*, 42(5 I): 930-937.

Ménard, F., Lorrain, A., Potier, M. y Marsac, F., 2007. Isotopic evidence of distinct feeding ecologies and movement patterns in two migratory predators (yellowfin tuna and swordfish) of the western Indian Ocean. *Marine Biology*, 153(2): 141-152.

Mercuri, M., 2007. Varamiento de mamíferos marinos en Isla Magdalena, BCS., México y su relación con factores físicos y biológicos. Tesis de Masters, Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas, IPN, La Paz, Baja California Sur, 107 pp.

Miller, D.J. y Lea, R.N., 1972. Guide to the coastal marine fishes of California. *Fish. Bull. Calif.*, 157: 1-235.

Miller, G.L. y Jorgenson, S.C., 1973. Meristic characters of some marine fishes of Western Atlantic. *Fishery Bulletin*, 71(1): 301-312.

Monod, T., 1968. Le complex urophore des poissons Téléostéens, 81. Mémoires de l'Institut Fondamental d'Afrique Noire., 705 pp.

Moser, H., Smith, P. y Enber, E., 1987. Larval fish assemblages in the California Current region, 1954-1960, a period of dynamic environmental change., California Cooperative Oceanic Fisheries investigations.

Needoba, J.A., Waser, N.A., Harrison, P.J. y Calvert, S.E., 2003. Nitrogen isotope fractionation in 12 species of marine phytoplankton during growth on nitrate. *Marine Ecology-Progress Series*, 255: 81-91.

Nordström, M., Aarnio, K. y Bonsdorff, E., 2009. Temporal variability of a benthic food web: Patterns and processes in a low-diversity system. *Marine Ecology Progress Series*, 378: 13-26.

Oczkowski, A.J., Pilson, M. y Nixon, S., 2010. A marked gradient in $\delta^{13}\text{C}$ values of clams *Mercenaria mercenaria* across a marine embayment may reflect variations in ecosystem metabolism. *Marine Ecology Progress Series*, 414: 145-153.

Ostrom, N.E., Macko, S.A., Deibel, D. y Thompson, R.J., 1997. Seasonal variation in the stable carbon and nitrogen isotope biogeochemistry of a coastal cold ocean environment. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 61(14): 2929-2942.

Pauly, D. y Christensen, V., 1995. Primary production required to sustain global fisheries. *Nature*, 374(6519): 255-257.

Pauly, D., Christensen, V. y Walters, C., 2000a. Ecopath, Ecosim, and Ecospace as tools for evaluating ecosystem impact of fisheries. *ICES Journal of Marine Science*, 57(3): 697-706.

Pauly, D., Froese, R., Sa-a, P.S., Palomares, M.L., Christensen, V. y Rius, J.b.T.m., 2000b. TrophLab manual. ICLARM, Manila.

Pauly, D., Palomares, M., Froese, R., Sa-a, P., Vakily, M., Preikshot, D. y Wallace, S., 2001. Fishing down Canadian aquatic food webs *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 58: 51 - 62.

Perez-Flores, R. y Auriol-Gamboa, D., 1995. Hábitos alimentarios de la langostilla bentónica en la plataforma continental de la costa oeste de Baja California Sur. En: D. Auriol-Gamboa and E. Balart (Eds.), *La langostilla: Biología, Ecología y aprovechamiento*. Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, La Paz, Baja California Sur, pp. 125-137.

Perga, M.E. y Gerdeaux, D., 2005. 'Are fish what they eat' all year round? *Oecologia*, 144(4): 598-606.

Peterson, B.J., 1999. Stable isotopes as tracers of organic matter input and transfer in benthic food webs: A review. *Acta Oecologica*, 20(4): 479-487.

Peterson, B.J. y Fry, B. (Eds.), 1987. *Stable isotopes in ecosystem studies*. Annual review of ecology and systematics. Annual Reviews Inc., 293-320 pp.

Peterson, B.J., Howarth, R.W. y Garritt, R.H., 1985. Multiple stable isotopes used to trace the flow of organic matter in estuarine food webs. *Science*, 227(4692): 1361-1363.

Petursdottir, H., Gislason, A., Falk-Petersen, S., Hop, H. y Svavarsson, J., 2008. Trophic interactions of the pelagic ecosystem over the Reykjanes Ridge as evaluated by fatty acid and stable isotope analyses. *Deep-Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography*, 55(1-2): 83-93.

Pinkas, L., Oliphant, M.S. y Iverson, I.L.K., 1971. Food habits of albacore, bluefin tuna, and bonito in California waters. *California Department of Fish and Game's Fish Bulletin*, 152: 1-105.

Popp, B.N., Graham, B.S., Olson, R.J., Hannides, C.C.S., Lott, M.J., Lopez-Ibarra, G.A., Galvan-Magaña, F. y Fry, B., 2007. Insight into the trophic ecology of yellowfin tuna, *Thunnus albacares*, from compound-specific nitrogen isotope analysis of proteinaceous amino acids. *Terrestrial Ecology*, 1, 173-190 pp.

Post, D.M., Layman, C.A., Arrington, D.A., Takimoto, G., Quattrochi, J. y Montaña, C.G., 2007. Getting to the fat of the matter: Models, methods and assumptions for dealing with lipids in stable isotope analyses. *Oecologia*, 152(1): 179-189.

Rasmusson, E.M., 1984. El Niño: the ocean/atmosphere connection. *Oceanus*, 27(2): 5-12.

Rau, G.H., Low, C., Pennington, J.T., Buck, K.R. y Chavez, F.P., 1998. Suspended particulate nitrogen $\delta^{15}\text{N}$ versus nitrate utilization: Observations in Monterey Bay, CA. *Deep-Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography*, 45(8-9): 1603-1616.

Reilly, S.B., Rice, D.W. y Wolman, A.A., 1983. Population assessment of the gray whale, *Eschrichtius robustus*, from California shore censuses, 1967-80. *Fishery Bulletin*, 81(2): 267-281.

Robinson, C.J., Gómez-Aguirre, S. y Gómez-Gutiérrez, J., 2007a. Pacific sardine behaviour related to tidal current dynamics in Bahía Magdalena, México. *Journal of Fish Biology*, 71(1): 200-218.

Robinson, C.J., Gómez-Gutiérrez, J. y Gómez-Aguirre, S., 2007b. Efecto de la dinámica de las corrientes de marea en los organismos pelágicos en la boca de Bahía Magdalena. En: R. Funes Rodríguez, J. Gómez-Gutiérrez and R. Palomares-García (Eds.), *Estudios ecológicos en Bahía Magdalena*. Instituto Politécnico Nacional, México D. F., pp. 45 - 60.

Rodríguez-Valenzuela, M., 2009. Contenido energético y ácidos grasos biomarcadores en dos rutas tróficas que llegan al lobo marino *Zalophus californianus*. Tesis de Masters, Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas-IPN, La Paz, BCS, 107 pp.

Sánchez-Aguilar, D., 2001. Depredación diferencial sobre la langostilla *pluroncodes planipes* (Crustacea: Galatheidae) por tres especies ícticas dominantes en los fondos blandos de la costa Oeste de Baja California Sur Tesis de, Universidad Autónoma de Baja California Sur, La Paz, BCS, 69 pp.

Sigman, D.M., Altabet, M.A., Michener, R., McCorkle, D.C., Fry, B. y Holmes, R.M., 1997. Natural abundance-level measurement of the nitrogen isotopic composition of oceanic nitrate: an adaptation of the ammonia diffusion method. *Marine Chemistry*, 57(3-4): 227-242.

Sigman, D.M., DiFiore, P.J., Hain, M.P., Deutsch, C. y Karl, D.M., 2009. Sinking organic matter spreads the nitrogen isotope signal of pelagic denitrification in the North Pacific. *Geophysical Research Letters*, 36(8).

Sigman, D.M., Granger, J., DiFiore, P.J., Lehmann, M.M., Ho, R., Cane, G. y van Geen, A., 2005. Coupled nitrogen and oxygen isotope measurements of nitrate along the eastern North Pacific margin. *Global Biogeochemical Cycles*, 19(4).

Sigman, D.M., Robinson, R., Knapp, A.N., van Geen, A., McCorkle, D.C., Brandes, J.A. y Thunell, R.C., 2003. Distinguishing between water column and sedimentary denitrification in the Santa Barbara Basin using the stable isotopes of nitrate. *Geochemistry Geophysics Geosystems*, 4: 1040.

Silverberg, N., Martínez, A., Aguiñiga, S., Carriquiry, J.D., Romero, N., Shumilin, E. y Cota, S., 2004. Contrasts in sedimentation flux below the southern California Current in late 1996 and during the El Niño event of 1997-1998. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 59(4): 575-587.

Simpson, E.H., 1949. Measurement of diversity. *Nature*, 163(4148): 688.

Stergiou, K.I. y Karpouzi, V.S., 2001. Feeding habits and trophic levels of Mediterranean fish. *Reviews in Fish Biology and Fisheries*, 11(3): 217-254.

Stowasser, G., McAllen, R., Pierce, G.J., Collins, M.A., Moffat, C.F., Priede, I.G. y Pond, D.W., 2009. Trophic position of deep-sea fish-Assessment through fatty acid and stable isotope analyses. *Deep-Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers*.

Stramma, L., Johnson, G.C., Sprintall, J. y Mohrholz, V., 2008. Expanding oxygen-minimum zones in the tropical oceans. *Science*, 320(5876): 655-658.

Thomson, D.A., Findley, L.T. y Kerstitch, A.N., 1979. Reef fishes of the Sea of Cortez. The rocky-shore fishes of the Gulf of California. *Reef fishes of the Sea of Cortez. The rocky-shore fishes of the Gulf of California.*: vii-xvii, 1-302.

Thunell, R.C. y Kepple, A.B., 2004. Glacial-holocene $\delta^{15}\text{N}$ record from the Gulf of Tehuantepec, Mexico: Implications for denitrification in the eastern equatorial Pacific and changes in atmospheric N_2O . *Global Biogeochemical Cycles*, 18(1): -.

Tieszen, L.L., Boutton, T.W., Tesdahl, K.G. y Slade, N.A., 1983. Fractionation and turnover of stable carbon isotopes in animal tissues: Implications for $\delta^{13}\text{C}$ analysis of diet. *Oecologia*, 57(1): 32-37.

Torres Orozco, E., 1993. Análisis volumétrico de las masas de agua del Golfo de California. Tesis de, Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada, Ensenada, Baja California, 80 pp.

Vander Zanden, M.J. y Rasmussen, J.B., 2001. Variation in $\delta^{15}\text{N}$ and $\delta^{13}\text{C}$ trophic fractionation: Implications for aquatic food web studies. *Limnology and Oceanography*, 46(8): 2061-2066.

Vanderklift, M.A. y Ponsard, S., 2003. Sources of variation in consumer-diet $\delta^{15}\text{N}$ enrichment: A meta-analysis. *Oecologia*, 136(2): 169-182.

Vaquer-Sunyer, R. y Duarte, C.M., 2008. Thresholds of hypoxia for marine biodiversity. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 105(40): 15452-15457.

Vetter, W., Weichbrodt, M., Hummert, K., Glotz, D. y Luckas, B., 1998. Combined microwave-assisted extraction and gel permeation chromatography for the

determination of chlorinated hydrocarbons in seal blubber and cod livers. *Chemosphere*, 37(9-12): 2439-2449.

Voss, M., Dippner, J.W. y Montoya, J.P., 2001. Nitrogen isotope patterns in the oxygen-deficient waters of the Eastern Tropical North Pacific Ocean. *Deep-Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers*, 48(8): 1905-1921.

Wada, E. y Hattori, A., 1976. Natural abundance of ^{15}N in particulate organic matter in the North Pacific Ocean. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 40(2): 249-251.

Wallace, A.R., 1878. Tropical Nature, and other Essays. *Tropical Nature, and other Essays.*: pp. 356.

Ward, B.B., Capone, D.G. y Zehr, J.P., 2007. What's New in the Nitrogen Cycle? *Oceanography*, 20(2): 101-109.

Weichbrodt, M., Vetter, W. y Luckas, B., 2000. Microwave-assisted extraction and accelerated solvent extraction with ethyl acetate - Cyclohexane before determination of organochlorines in fish tissue by gas chromatography with electron-capture detection. *Journal of AOAC International*, 83(6): 1334-1343.

Wolf, N., Carleton, S.A. y MartÃ-nez Del Rio, C., 2009. Ten years of experimental animal isotopic ecology. *Functional Ecology*, 23(1): 17-26.

Yamagishi, H., Westley, M.B., Popp, B.N., Toyoda, S., Yoshida, N., Watanabe, S., Koba, K. y Yamanaka, Y., 2007. Role of nitrification and denitrification on the nitrous oxide cycle in the eastern tropical North Pacific and Gulf of California. *Journal of Geophysical Research-Biogeosciences*, 112(G2): -.

York, J.K., Tomasky, G., Valiela, I. y Repeta, D.J., 2007. Stable isotopic detection of ammonium and nitrate assimilation by phytoplankton in the Waquoit Bay estuarine system. *Limnology and Oceanography*, 52(1): 144-155.

Zaytsev, O., Cervantes-Duarte, R., Montante, O. y Gallegos-Garcia, A., 2003. Coastal upwelling activity on the Pacific shelf of the Baja California Peninsula. *Journal of Oceanography*, 59(4): 489-502.

Zaytsev, O., Sanchez-Montante, O. y Robinson, C.J., 2007. Características del ambiente hidrofísico en la plataforma continental y zona oceánica adyacente al sistema lagunar Bahía Magdalena-Almejas En: R. Funes Rodríguez, J. Gómez-Gutierrez and R. Palomares-García (Eds.), *Estudios ecológicos en Bahía Magdalena*. Instituto Politécnico Nacional, Mexico, D.F., pp. 29-44.

12 ANEXOS

Tabla 16. Nivel trófico de peces demersales. Calculados incorporando $\delta^{15}\text{N}$ de músculo, valores temporales de Δ y base de la cadena trófica.

	Marzo 06	Noviembre 06	Marzo 07	Noviembre 07
<i>Citharichthys xanthostigma</i>	3.6 ± 0.1	3.6 ± 0.1	3.9 ± 0.1	3.6 ± 0.1
<i>Kathetostoma averruncus</i>	3.5 ± 0.1	3.9 ± 0.1	4 ± 0.1	3.9 ± 0.1
<i>Synodus lucioceps</i>	3.5 ± 0.1		3.9 ± 0.1	
<i>Diplectrum labarum</i>	3.9 ± 0.1			
<i>Hippoglossina stomata</i>	3.9 ± 0.1	4 ± 0.1	4 ± 0.2	
<i>Prionotus albirostris</i>	3.5 ± 0.1	3.7 ± 0.1	3.7 ± 0.2	
<i>Merluccius angustimanus</i>	3.5 ± 0.2		3.3 ± 0.1	3.4 ± 0.2
<i>Zalietus elater</i>				4.2 ± 0.2
<i>Lepophidium stigmatistium</i>	3.9 ± 0.1			3.6 ± 0.6
<i>Bellator gymnostethus</i>		3.8 ± 0.2	4 ± 0.1	4 ± 0.1
<i>Peprilus simillimus</i>	3.2 ± 0.2			3.7 ± 0.1

Tabla 17. Índice de Levin calculado para las temporadas de muestreo y especies presentes con contenido estomacal.

Especies	Marzo 06	Noviembre 06	Marzo 07	Noviembre 07
<i>Citharichthys xanthostigma</i>	0.14	0.15	0.03	0.0001
<i>Kathetostoma averruncus</i>	0.009	0.031	0.0001	Sin c.e.
<i>Synodus lucioceps</i>	0.003	0.001	0.009	
<i>Hippoglossina stomata</i>	0.26	0.06	0.34	
<i>Prionotus albirostris</i>	0.48	0.17	0.005	
<i>Merluccius angustimanus</i>	0		0.06	Sin c.e.
<i>Zalietus elater</i>		0.28	0.1	0.94
<i>Lepophidium stigmatistium</i>	0.1			0.19
<i>Bellator gymnostethus</i>		0.003		0.07
<i>Peprilus simillimus</i>	0.006			0.37

Sin c.e. = sin contenido estomacal

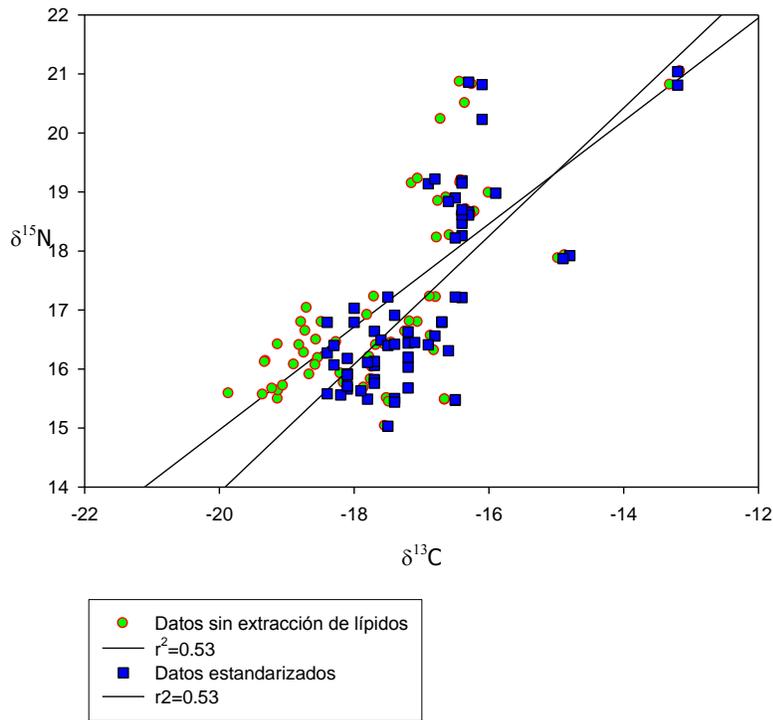


Figura 55. Regresión lineal entre los isótopos de C y N señalando los datos observados y después de su estandarización.

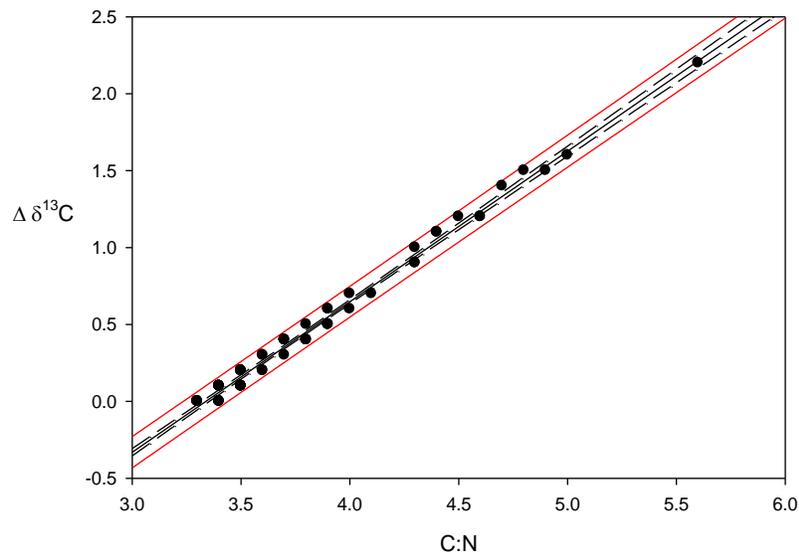


Figura 56. Correlación entre el C:N y la diferencia entre los valores observados y corregidos de $\delta^{13}\text{C}$.

Tabla 18. Índice de Morisita calculado por las 4 temporadas de muestreos, Marzo de 2006, Noviembre de 2006, Marzo de 2007 y Noviembre de 2007 (A, B, C, D, respectivamente).

A

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	C. xanthos	D. labarun	H. stomata	K. averruncus	L. stigmati	P. albirostris	S. lucioceps	P. simillimus	M. angustimanus	C. cephalus
1 C. xanthostigma		0.15	0.28	0.54	0.03	0.20	0.15	0.15	0.00	0.38
2 D. labarum			0.00	0.00	0.00	0.45	0.95	0.95	0.00	0.00
3 H. stomata				0.43	0.02	0.10	0.00	0.00	0.00	0.32
4 K. averruncus					0.05	0.20	0.00	0.00	0.00	0.64
5 L. stigmatistium						0.01	0.00	0.00	0.37	0.04
6 P. albirostris							0.47	0.47	0.00	0.14
7 S. lucioceps								0.99	0.00	0.00
8 P. simillimus									0.00	0.00
9 M. angustimanus										0.00
10 C. cephalus										

B

	1	2	3	4	5	6
	C. xanthostigma	H. stomata	K. averruncus	P. albirostris	B. gymnostethus	S. lucioceps
C. xanthostigma		0.00007	0.00150	0.00024	0.00001	0.00107
H. stomata			0.02648	0.00362	0.00002	0.01716
K. averruncus				0.11056	0.00000	0.52660
P. albirostris					0.48066	0.12093
B. gymnostethus						0.07917
S. lucioceps						

C

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
	Bellator s	C. affinis	C. Satturn	C. xan	Diplectrum	Hippoglos	K. averrur	M. angust	Mustelus	Paralabra	Paralabra	Porichthy	Prionotus	Pristigeny	Syacium l	Synodus l	Xystreuris	Zalieutes
1	Bellator s	0	6.69E-08	0.714667	0.36518	1.65E-08	5.03E-05	0.000865	2.84E-08	0	0	0.298771	0.0002	6.94E-10	3.11E-07	0.664906	8.72E-11	0
2	C. affinis		0	7.98E-07	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	C. Satturnum			9.28E-07	0	0.01415	0	0	0.423259	0	0	0	0	0	0.028232	0	0.000123	0
4	C. xanthostigma				0.286117	0.001755	0.00072	0.000635	5.43E-05	0	0.000613	0.234074	0.000145	0.000574	0.000137	0.510756	9.88E-06	0.000121
5	Diplectrum spp					0	1.85E-05	0.000325	0	0	0	0.123047	7.4E-05	0	0	0.266694	0	0
6	Hippoglossina spp						0.001167	3.59E-06	0.009056	0	0.001111	2.6E-05	5.65E-05	0.001157	0.000585	1.4E-07	0.044047	1.12E-05
7	K. averruncus							5.8E-05	0.068875	0	0.857108	1.51E-05	1.01E-08	0.679877	0	3.38E-05	0.00254	0
8	M. angustimanus								1.98E-05	0	5.08E-05	0.000266	1.92E-07	4.09E-05	0	0.000589	1.71E-07	0
9	Mustelus lunulatus									0	0.063483	0.006214	1.15E-06	0.054461	0.015044	1.54E-06	0.000285	0
10	Paralabrax maculatofasciatus											0	0	0	0	0	0	0
11	Paralabrax nebulifer												0.002145	1.83E-10	0.611906	0.000141	3.25E-07	0.002328
12	Porichthys analis													6.06E-05	5.16E-06	0	0.218198	0
13	Prionotus albirosris														1.03E-11	2.03E-09	0.000135	0.076082
14	Pristigenys serrula															2.37E-05	1.12E-07	0.001987
15	Syacium latifrons																0	6.71E-06
16	Synodus lucioceps																	6.3E-10
17	Xystreuris liolepis																	
18	Zalieutes elater																	

D

	1	2	3	4	5	6	7
	Bgym	Cbra	Cxan	Lsti	Dlab	Zla	Psny
1	Bgym	0.068579	0	0.014329	0	0	0.035049
2	Cbra		1.15E-10	0.00142	0	0.014874	0.003096
3	Cxan			0	0.124372	0.228433	0.012801
4	Lsti				0	0	0.000765
5	Dlab					0.031148	0.00172
6	Zla						0.003203
7	Psny						

Tabla 19. Pruebas estadísticas realizadas a los valores isotópicos de las diferentes especies de peces demersales colectados en la zona oceánica frente a Bahía Magdalena.

Mann-Whitney test / two-tailed test: Alpha=0.050					
<i>B. gymnostethus</i> $\delta^{13}C$			<i>B. gymnostethus</i> $\delta^{15}N$		
	Noviembre 2006	Noviembre 2007		Noviembre 2006	Noviembre 2007
Noviembre 2006		n.s	Noviembre 2006		0.003
Noviembre 2007			Noviembre 2007		

Mann-Whitney test / two-tailed test: Alpha=0.050								
<i>C. xanthostigma</i> $\delta^{13}C$					<i>C. xanthostigma</i> $\delta^{15}N$			
	Marzo 06	Noviembre 06	Marzo 07	Noviembre 07	Marzo 06	Noviembre 06	Marzo 07	Noviembre 07
Marzo 06		ns	0.006	ns		0.05	0.003	ns
Noviembre 06			ns	ns			0.004	ns
Marzo 07				ns				0.002
Noviembre 07								

Mann-Whitney test / two-tailed test: Alpha=0.050							
<i>H.stomata</i> $\delta^{13}C$				<i>H.stomata</i> $\delta^{15}N$			
	Marzo 06	Noviembre 06	Marzo 07		Marzo 06	Noviembre 06	Marzo 07
Marzo 06		ns	ns	Marzo 06		ns	ns
Noviembre 06			ns	Noviembre 06			ns
Marzo 07				Marzo 07			

Mann-Whitney test / two-tailed test: Alpha=0.050								
<i>K. averruncus</i> $\delta^{13}C$					<i>K. averruncus</i> $\delta^{15}N$			
	Marzo 06	Noviembre 06	Marzo 07	Noviembre 07	Marzo 06	Noviembre 06	Marzo 07	Noviembre 07
Marzo 06		0.001	0.001	0.02		0.002	0.001	0.002
Noviembre 06			ns	0.001			0.003	ns
Marzo 07				0.003				0.005
Noviembre 07								

Mann-Whitney test / two-tailed test: Alpha=0.050					
<i>L. stigmatistium</i> $\delta^{13}C$			<i>L. stigmatistium</i> $\delta^{15}N$		
	Marzo 06	Noviembre 2007		Marzo 06	Noviembre 2007
Marzo 06		ns	Marzo 06		0.037
Noviembre 2007			Noviembre 2007		

Mann-Whitney test / two-tailed test: Alpha=0.050							
<i>M. angustimanus</i> $\delta^{13}C$				<i>M. angustimanus</i> $\delta^{15}N$			
	Marzo 06	Marzo 07	Noviembre 07		Marzo 06	Marzo 07	Noviembre 2007
Marzo 06		ns	ns	Marzo 06		0.002	0.003
Marzo 07			ns	Marzo 07			ns
Noviembre 07				Noviembre 07			

Mann-Whitney test / two-tailed test: Alpha=0.050					
Prepilus $\delta^{13}\text{C}$			Peprilus $\delta^{15}\text{N}$		
	Marzo 06	Noviembre 2007		Marzo 06	Noviembre 2007
Marzo 06		0.002	Marzo 06		0.001
Noviembre 2007			Noviembre 2007		

Mann-Whitney test / two-tailed test: Alpha=0.050							
<i>P. albirostris</i> $\delta^{13}\text{C}$				<i>P. albirostris</i> $\delta^{13}\text{C}$			
	Marzo 06	Noviembre 06	Marzo 07		Marzo 06	Noviembre 06	Marzo 07
Marzo 06		ns	ns	Marzo 06		ns	ns
Noviembre 06			ns	Noviembre 06			ns
Marzo 07				Marzo 07			

Mann-Whitney test / two-tailed test: Alpha=0.050					
<i>S. lucioceps</i> $\delta^{13}\text{C}$			<i>S. lucioceps</i> $\delta^{15}\text{N}$		
	Marzo 06	Marzo 2007		Marzo 06	Marzo 2007
Marzo 06		n.s	Marzo 06		0.0001
Marzo 2007			Marzo 2007		