



INSTITUTO POLÍTECNICO NACIONAL
CENTRO INTERDISCIPLINARIO DE CIENCIAS MARINAS



VARIACIÓN DE LA DISTRIBUCIÓN Y BIOMASA
DEL CALAMAR GIGANTE *Dosidicus gigas*
(D'ORBIGNY, 1835) EN LA REGIÓN CENTRAL
DEL GOLFO DE CALIFORNIA

TESIS

QUE PARA OBTENER EL GRADO DE
DOCTOR
EN
CIENCIAS MARINAS

PRESENTA
JOSÉ IVÁN VELÁZQUEZ ABUNADER

LA PAZ, B. C. S. 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 25 del mes de Abril 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:

"VARIACIÓN DE LA DISTRIBUCIÓN Y BIOMASA DEL CALAMAR GIGANTE

***Dosidicus gigas* (D'ORBIGNY, 1835) EN LA REGIÓN CENTRAL DEL GOLFO DE CALIFORNIA"**

Presentada por el alumno:

VELÁZQUEZ
Apellido paterno

ABUNADER
materno

JOSÉ IVÁN
nombre(s)

Con registro:

A	0	8	0	0	9	5
---	---	---	---	---	---	---

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. MANUEL OTILIO NEVÁREZ MARTÍNEZ

Director de Tesis

DR. AGUSTÍN HERNÁNDEZ HERRERA

Director de Tesis

DR. DANIEL LEUCH BELÓN

DRA. SOFÍA ORTEGA GARCÍA

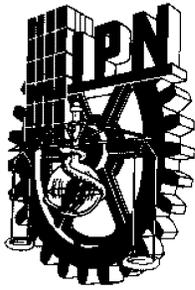
DR. VÍCTOR MANUEL GÓMEZ MUÑOZ

PRESIDENTE DEL COLEGIO DE PROFESORES

DR. RAFAEL CERVANTES DUARTE



IPN
CICIMAR
DIRECCION



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

CARTA CESIÓN DE DERECHOS

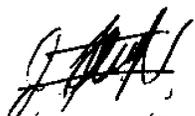
En la Ciudad de La Paz, B.C.S., el día 09 del mes Mayo del año 2011
el (la) que suscribe MC. JOSÉ IVÁN VELÁZQUEZ ABUNADER alumno(a) del
Programa de DOCTORADO EN CIENCIAS MARINAS
con número de registro A080095 adscrito al CENTRO INTERDISCIPLINARIO DE CIENCIAS MARINAS
manifiesta que es autor (a) intelectual del presente trabajo de tesis, bajo la dirección de:
DR. MANUEL OTILIO NEVÁREZ MARTÍNEZ y DR. AGUSTÍN HERNÁNDEZ HERRERA
y cede los derechos del trabajo titulado:

"VARIACIÓN DE LA DISTRIBUCIÓN Y BIOMASA DEL CALAMAR GIGANTE
Dosidicus gigas (D'ORBIGNY, 1835) EN LA REGIÓN CENTRAL DEL GOLFO DE CALIFORNIA"

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: manuel.nevarez@prodigy.mx - aherrera@ipn.mx - jvelazqueza@ipn.mx

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


MC. JOSÉ IVÁN VELÁZQUEZ ABUNADER
nombre y firma

DEDICATORIA

En memoria de mi padre Sr. José Guadalupe Velázquez Muñoz (1936–2006)

A mi madre Sra. Olga Abunader Bejarano.

A mis hermanos Enrique, Blanca, Guillermo y Olga.

A mis tíos, primos y sobrinos.

A todos mis amigos y compañeros.

AGRADECIMIENTOS

Al Centro interdisciplinario de Ciencias Marinas (CICIMAR – IPN) por aceptarme como su estudiante.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT) y al Instituto Politécnico Nacional a través del Programa Institucional de Formación de Investigadores (PIFI – IPN) por los apoyos económicos otorgados.

Al Instituto Nacional de Pesca (INAPESCA) a través del Centro Regional de Investigación Pesquera (CRIP) de Guaymas, Sonora, por facilitarme la base de datos para la realización del presente trabajo, así como a todo el personal del proyecto Calamar Gigante del CRIP Guaymas.

A la estación meteorológica de la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA) de Empalme, Sonora, por facilitarme los registros de vientos para la estimación del índice de surgencias costero.

A mis directores de tesis el Dr. Manuel Otilio Nevárez Martínez y Dr. Agustín Hernández Herrera por sus atinadas sugerencias, correcciones y consejos durante mis estudios de Doctorado.

A mis asesores la Dra. Sofía Ortega García, Dr. Daniel Lluch Belda, Dr. Víctor Manuel Gómez Muñoz y Dr. René Funes Rodríguez por sus sugerencias y correcciones a este documento.

Al Dr. Héctor Villalobos Ortiz por enseñarme a usar el programa R, tener siempre tiempo para disipar mis dudas y asesorarme con los análisis de Geoestadística.

Al Dr. Eduardo González Rodríguez (CICESE) por su apoyo en el procesamiento de las imágenes de satélite, la obtención de la batimetría y su apoyo en el uso del programa MATLAB, que me ahorró muchas horas de trabajo.

Al Dr. Salvador Lluch Cota por su asesoría y apoyo en la estimación del índice de surgencias costero.

Finalmente, agradezco infinitamente a todos mis amigos, compañeros y trabajadores de CICIMAR que me brindaron su amistad, apoyo, consejos y regaños durante estos tres años y medio.

Índice	Página
Tema	
Lista de Figuras.....	
Lista de Tablas.....	
Glosario.....	i
Resumen.....	v
Abstract.....	vi
1. INTRODUCCIÓN.....	1
2. ANTECEDENTES.....	4
3. JUSTIFICACIÓN.....	10
4. OBJETIVOS.....	11
4.1 Objetivo General.....	11
4.2 Objetivos específicos.....	11
5. MATERIAL Y MÉTODOS.....	12
5.1 Área de estudio.....	12
5.2 Origen de los datos.....	15
5.2.1 Cruceros de investigación.....	15
5.2.2 Variables ambientales.....	17
5.3 Estimaciones de biomasa.....	19
5.3.1 Método de área barrida.....	20
5.3.2 Método de muestreo estratificado.....	21
5.4 Distribución de frecuencias de tallas y condición reproductiva.....	23
5.5 Distribución espacial.....	25

5.6 Análisis exploratorio de la distribución y abundancia del calamar gigante con respecto a las variables ambientales mediante árboles de regresión	26
6. RESULTADOS	30
6.1 Biomasa de calamar gigante.....	30
6.2 Distribución de frecuencias de tallas y condición reproductiva	31
6.3 Distribución espacial de capturas.....	35
6.4 Distribución espacial por sexo.....	37
6.5 Distribución espacial por fase de madurez	42
6.6 Distribución espacial por talla.....	47
6.7 Relación entre los eventos de surgencias y biomاسas de calamar gigante	50
6.8 Relación entre ambiente – distribución y abundancia de las capturas de calamar gigante.....	52
7. DISCUSIÓN	58
7.1 Biomاسas de calamar gigante	58
7.2 Distribución de tallas y condición reproductiva del calamar gigante	59
7.3 Distribución espacial del calamar gigante	62
7.4 Relación de la biomasa del calamar gigante y los eventos de surgencias.....	65
7.5 Relación entre la distribución del calamar gigante y las variables ambientales	67
8. CONCLUSIONES.....	70
9. REFERENCIAS	71
ANEXOS	81

Lista de figuras

Figura 1.- Área de estudio. Zona gris.	13
Figura 2.- Red de estaciones de muestreo de calamar gigante en el Golfo de California para cada crucero de investigación.	16
Figura 3.- División de la zona de estudio en mallas de $0.33^\circ \times 0.50^\circ$	29
Figura 4.- Estimaciones de biomasa de calamar gigante en el Golfo de California para los cruceros de investigación. Valores dados en toneladas	31
Figura 5.- Distribución de frecuencias de tallas y grupos modales estimados para <i>Dosidicus gigas</i> en el Golfo de California.	33
Figura 6.- Talla promedio de primera madurez en hembras y machos por crucero de investigación en el Golfo de California. \times = desviación estándar de machos y \blacktriangle = desviación estándar de hembras.	35
Figura 7.- Distribución espacial de las capturas en kilogramos de <i>Dosidicus gigas</i> en la región central del Golfo de California.	37
Figura 8.- Proporción de sexos de <i>Dosidicus gigas</i> por crucero de investigación en la región central del Golfo de California. La línea gris punteada indica una proporción de sexos de 1:1.	39
Figura 9.- Distribución espacial de machos de <i>Dosidicus gigas</i> en la región central del Golfo de California.	41
Figura 10.- Distribución espacial de hembras de <i>Dosidicus gigas</i> en la región central del Golfo de California.	42
Figura 11.- Proporción de organismos inactivos y activos reproductivamente de <i>Dosidicus gigas</i> en la región central del Golfo de California. La línea gris indica una proporción de 1:1.	43
Figura 12.- Distribución espacial de organismos inactivos de <i>Dosidicus gigas</i> en la región central del Golfo de California.	45

Figura 13.- Distribución espacial de organismos activos de <i>Dosidicus gigas</i> en la región central del Golfo de California.....	46
Figura 14.- Proporción de organismos por talla de <i>Dosidicus gigas</i> en la región central del Golfo de California. La línea gris punteada señala una proporción de 1:1.....	47
Figura 15.- Distribución espacial de organismos menores a 30 cm de longitud de manto de <i>Dosidicus gigas</i> en la región central del Golfo de California.	49
Figura 16.- Distribución espacial de organismos mayores a 30 cm de longitud de manto de <i>Dosidicus gigas</i> en la región central del Golfo de California.	50
Figura 17.- Índice de surgencias costero (CUI) y biomاسas de calamar estimadas durante los cruceros de mayo – junio. Las biomاسas correspondientes a mayo de 1996 y mayo de 1999 fueron tomadas de Nevárez–Martínez <i>et al.</i> (2008).	51
Figura 18.- Dispersión de las capturas de calamar gigante <i>Dosidicus gigas</i> respecto a las variables ambientales por cada crucero de investigación. Las líneas grises punteadas indican los percentiles del 10 y 90% del total de los datos para cada variable ambiental.....	53
Figura 19.- Árboles de regresión por crucero de investigación: a) noviembre de 1997, b) mayo de 1998, c) junio de 2002, d) febrero de 2003, e) junio de 2003, f) mayo de 2004. Capturas dadas en $\log(\text{kg} + 1)$	54
Figura 20.- Valores observados y calculados por los árboles de la capturas de calamar gigante de regresión para cada cuadrante dentro del Golfo de California.	56
Figura 21.- Distribución espacial de las capturas observadas (barras negras) y calculadas (barras grises) por los árboles de regresión del calamar gigante <i>Dosidicus gigas</i> para cada crucero de investigación.	57

Lista de tablas

Tabla 1.- Número de estaciones de muestreo, rango de tallas y número de individuos muestreados de <i>Dosidicus gigas</i> por crucero.....	32
Tabla 2.- Grupos modales estimados para el calamar gigante <i>Dosidicus gigas</i> en Golfo de California, México mediante la técnica de distribución multinomial (longitud de manto promedio \pm desviación estándar en cm) y periodos de eclosión. t = edad en meses y n = número de calamares por cohorte.....	34
Tabla 3.- Parámetros estimados de los variogramas empíricos de las capturas de <i>Dosidicus gigas</i> expresadas en kilogramos SC = Suma de Cuadrados. * Valores dados en Log + 1.....	36
Tabla 4. Proporción de sexos del calamar gigante <i>Dosidicus gigas</i> en la región central del Golfo de California. Significativo a $p < 0.05$	38
Tabla 5.- Parámetros estimados de los variogramas empíricos de las capturas por sexos de <i>Dosidicus gigas</i> expresadas en número de organismos. SC = Suma de Cuadrados. * Valores dados en Log + 1.....	40
Tabla 6.- Parámetros estimados de variogramas empíricos de capturas por madurez de <i>Dosidicus gigas</i> expresadas en número de organismos. SC = Suma de Cuadrados. * Valores dados en log + 1.....	44
Tabla 7.- Parámetros estimados de los variogramas empíricos de las capturas por talla de <i>Dosidicus gigas</i> expresadas en número de organismos. SC = Suma de Cuadrados. * Valores dados en Log + 1.....	48
Tabla 8.- Medida de importancia de las variables ambientales para cada árbol de regresión.....	55

Glosario

Análisis de Población Virtual (APV): Es básicamente el análisis de las capturas logradas por la pesca comercial (registros que se obtienen a través de estadísticas pesqueras), combinada con información detallada sobre la contribución de cada cohorte a la captura total, la cual generalmente se obtiene por medio de programas de muestreo y lecturas de edad. La palabra “virtual” se basa en la analogía con la imagen virtual tomada de la física. Una población virtual no corresponde a la población real sino que es la única que podemos ver. La idea tras este método es analizar lo que se puede ver, en pesquerías sería la captura de modo de calcular la población que debía haber en el agua para producir esa captura.

Árbol de regresión: Técnica estadística útil para evaluar la importancia relativa de una variable de respuesta a través de una o más variables predictivas. Los árboles dividen el set de datos en una secuencia de forma de árbol a través de divisiones binarias de una de las covariables hasta que la varianza de esas divisiones alcanza el valor mínimo posible.

Cohorte: Es un grupo de organismos de la misma especie que presentan la misma edad y pertenecen al mismo stock.

Concentración: Proceso relacionado con la Hipótesis de la Triada en la cual señala que el reclutamiento exitoso de organismos marinos está asociado con los procesos oceanográficos que posibilitan el enriquecimiento de la cadena trófica (enriquecimiento), la retención de los huevos y larvas dentro de una adecuada de crianza y la concentración de la partículas de alimento requeridas por las primeras larvas y estadios subsecuentes.

Cuenca: Depresión en el fondo oceánico, caracterizada por su gran extensión y uniformidad relativa.

Distribución multinomial: La distribución multinomial es una generalización de la distribución binomial a diferencia de que la distribución multinomial puede tener dos o

más resultados mutuamente excluyentes y para cada salida de la distribución se obtendrá una probabilidad dada mediante los criterios de verosimilitud.

El Niño: Fenómeno climático, no periódico que se presenta con una frecuencia menor a siete años, que consiste en un cambio en los patrones de movimiento de las corrientes marinas en la zona intertropical provocando, en consecuencia, una superposición de aguas cálidas procedentes de la zona del hemisferio norte inmediatamente al norte del ecuador sobre las aguas de emersión muy frías que caracterizan la corriente de Humboldt o del Perú.

Escape proporcional: Medida de regulación adoptada para cefalópodos el cual indica el número de organismos reproductores vivos al final de una temporada de pesca, como una proporción del total que hubiera sobrevivido en ausencia de la pesca.

Euritermo: Organismos que pueden sobrevivir y desarrollarse en temperaturas muy variables.

Giro oceánico: Es un gran sistema de corrientes marinas rotativas, particularmente las que están relacionadas a grandes movimientos del viento. Los giros son causados por el efecto de efecto Coriolis.

Kriging: Es un método geoestadístico de estimación de puntos que utiliza un modelo de variograma para la obtención de datos. Calcula los pesos que se darán a cada punto de las referencias usadas en la valoración. Esta técnica de interpolación se basa en la premisa de que la variación espacial continúa con el mismo patrón.

La Niña: Al igual que el El Niño, es un fenómeno meteorológico no periódico que consiste en el enfriamiento de las aguas ecuatoriales que produce un incremento en la intensidad de los vientos alisios este-oeste.

Mesoescala: Es un fenómeno que se lleva a cabo en un espacio reducido en relación al área total del océano, sus dimensiones pueden oscilar desde aproximadamente 9 km hasta varios centenares de kilómetros.

Nugget: Parámetro del variograma que indica la posible discontinuidad en el origen que no es otra cosa más que el intercepto de la curva ajustada para cada variograma, a esta discontinuidad se le llama Efecto de Pepita, en ingles (Nugget effect).

Parámetro de Coriolis: Es un valor que se define con la letra f en las ecuaciones que rigen los modelos numéricos para pronóstico de tiempo. Depende de la latitud y la velocidad angular de la tierra y se estima mediante la siguiente ecuación: $f = \Omega * \text{sen}(\Phi)$, donde Ω es la velocidad de rotación de la tierra y Φ es la latitud.

Pelágico: Relativo al ambiente o hábitat formado por el conjunto de las masas de agua situadas sobre los fondos marinos. También se aplica a los organismos que viven en aguas abiertas, desligados del fondo y habitualmente suspendidos entre dos aguas.

Potera: Arte de pesca que se utiliza para el calamar, formada por una línea de nailon, en donde van señuelos cilíndricos con varios anzuelos.

Productividad primaria: Velocidad con que las microalgas marinas almacenan, en forma de materia orgánica, la energía que les sobra después de su respiración.

Sill: En los modelos de variogramas, es el valor para el cual con el aumento de la distancia su valor permanece constante y se denomina Meseta.

Surgencia: Fenómeno oceanográfico que consiste en el movimiento vertical de las masas de agua, de niveles profundos hacia la superficie. A este fenómeno también se le llama afloramiento y las aguas superficiales presentan generalmente un movimiento de divergencia horizontal característico.

Stock: Sí bien existen diversas definiciones de stock, en pesquerías stock es un grupo de individuos que se encuentran en un área específica en un tiempo específico, sin importar su integridad genética. Por otra parte, desde el punto de vista genético, se considera al stock como una unidad aislada reproductivamente y

genéticamente diferenciada de otras, en donde unos cuantos migrantes por generación son suficientes para evitar la diferenciación genética.

Talla promedio de primera madurez: Se define como la talla a la cual el 50% de los organismos alcanzan la madurez sexual.

Transporte de Ekman: Es el movimiento de las masas de agua oceánicas (y los materiales en suspensión en ellas) con un cierto ángulo con respecto a la dirección de la corriente superficial. Se obtiene integrando verticalmente la espiral de Ekman, proceso en que cada capa de agua del océano arrastra consigo por viscosidad la capa inmediatamente inferior. Se inicia con la acción del viento sobre el agua cercana a la superficie del océano, causando el movimiento de ésta.

Variograma: El variograma o semivariograma es la herramienta estructural básica en geoestadística. Esta permite analizar el comportamiento espacial de una variable sobre un área definida y está estrechamente ligado a las varianzas, obteniendo como resultado la influencia de los datos a diferentes distancias. En otra palabras, el variograma mide la variabilidad media entre dos puntos x y $x + h$ como una función de su distancia h .

Zona eufótica: a la profundidad en la que la intensidad de la luz queda reducida a un 1% de la que incide en la superficie, el límite por debajo del cual no queda lugar para la fotosíntesis.

Resumen

México es el segundo productor de calamar gigante en el mundo, con capturas anuales superiores a 50,000 t en los últimos diez años. Sin embargo, se han observado importantes descensos en las abundancias de este recurso que se atribuyen a eventos ambientales de gran escala que posiblemente afectan la disponibilidad de esta especie; aunque esta hipótesis no ha sido probada. En este trabajo se determinó la variación de la distribución y biomasa del calamar gigante en la región central del Golfo de California y su relación con variables ambientales. Se utilizaron registros de nueve cruceros de investigación llevados a cabo desde 1997 a 2008. En cada crucero se capturaron calamares y se obtuvieron muestras para registrar el sexo, madurez y talla. Se estimaron las biomásas totales por crucero mediante dos métodos diferentes. Se realizó un análisis exploratorio de las tendencias de la distribución y capturas de calamar gigante con respecto a diferentes variables ambientales a través de árboles de regresión. Los resultados indican que las biomásas oscilaron entre 1,000 a 430,000 t. La distribución de las capturas varió entre cruceros, los organismos inmaduros se concentraron principalmente en la costa oeste del golfo, mientras que los maduros estuvieron cargados hacia la costa este. Los calamares de tallas pequeñas se concentraron alejados de ambas costas al sur del golfo y los de mayor talla se distribuyeron cercanos en ambas costas. La productividad primaria y la profundidad fueron variables ambientales que explicaron la distribución de las capturas y de organismos maduros. Se encontró una coincidencia entre la intensidad de las surgencias del invierno en la costa este y la biomasa de calamar gigante reclutada a la pesquería lo cual posiblemente este fenómeno sea un indicador de dicha biomasa. Se concluye que la distribución y biomasa del calamar cambia en el tiempo y estas variaciones pueden ser explicadas por factores ambientales.

Abstract

Mexico is the second largest producer of jumbo squid in the world, reports higher annual catches to 50,000 t in recent years. Historically it has been observed significant declines in the abundance of this resource (eg in 1998) and attributed to large-scale environmental events (ENSO) that may affect the availability of this species, but this hypothesis has not been proven. The aim of this study is to determine the variation in the distribution and biomass of giant squid in the central Gulf of California and its relation to environmental variables. Were obtained from nine research cruises carried out from 1997 to 2008. In each cruise were caught squid and sampling to record the sex, maturity and size. We estimated the total biomass cruise by two different methods. We performed an exploratory analysis of trends in distribution and giant squid in relation to various environmental variables through regression trees. The results indicate that the biomass ranged from 1.540 (November 1997) to 430.080 t (February 2003). The distribution of catches varied among cruises, immature agencies focused primarily on the west coast of the Gulf while mature were loaded to the East Coast. The small size squid were concentrated away from both coasts south of the Gulf and larger size were distributed near both coasts. Primary productivity and depth were the environmental variables that explained the distribution of catches and mature organisms. Upwelling may be an indicator of the biomass of squid that are recruited to the fishery. We conclude that the distribution and squid biomass changes over time and these variations may be explained by environmental factors.

1. INTRODUCCIÓN

Los calamares de la familia Ommastrephidae son depredadores pelágicos que habitan los océanos del mundo, excepto las regiones polares. Aunque sólo pertenecen esta familia 25 especies suman una biomasa de cerca de 50 millones de toneladas en el mundo (Gilly *et al.*, 2006). Ecológicamente hablando tienen una gran importancia debido a que son depredadores de organismos como copépodos, hyperiididos, anfípodos, moluscos heterópodos, eufásidos, sardinas y myctófididos (Ehrhardt, 1991; Nigmatullin *et al.*, 2001; Markaida & Sosa–Nishizaki, 2003) y a la vez son presa de mamíferos marinos, atunes y peces de pico entre otros; se ha estimado que los calamares llegan a constituir hasta el 25% de su dieta (Caddy & Rodhouse, 1998). Otro fuerte consumidor de cefalópodos es el humano mediante las actividades pesqueras debido a que estos organismos son una alternativa importante a la captura de stocks de peces tradicionales, donde las producciones han declinado debido a la sobreexplotación (Morales–Bojórquez *et al.*, 2001b; Rodhouse, 2001). Las especies de crecimiento rápido como los calamares pueden estar mejor adaptados a una fuerte presión pesquera que algunas especies de peces de lento crecimiento (Rocha & Vega, 2003)

En México, el recurso calamar está compuesto de varias especies de los géneros *Loligo*, *Lolliguncula*, *Loliolopsis*, *Illex*, *Ommastrephes*, *Dosidicus* y *Symplectoteuthis*, la mayoría se pesca en forma incidental y solamente el calamar gigante *Dosidicus gigas*, es actualmente la especie que constituye la única pesquería con un grado de desarrollo importante en el Pacífico norte del país (Morales–Bojórquez *et al.*, 2001b).

En México las principales zonas de captura de *D. gigas* se localizan en el área delimitada por los 22° y 28° latitud Norte, y los 109° y 114° longitud Oeste, que abarca la zona comprendida desde la boca del Golfo de California hasta Santa Rosalía en Baja California Sur, Guaymas en Sonora y también se han reportado

capturas de este recurso en Bahía Magdalena en la costa oeste de Baja California Sur (Nevárez–Martínez *et al.*, 2000; Morales–Bojórquez *et al.*, 2001a).

El calamar gigante, *D. gigas*, es un cefalópodo pelágico ampliamente distribuido en el Océano Pacífico oriental, entre los 40°N y 47°S y hasta los 140°W en el ecuador (Nevárez–Martínez *et al.*, 2006). Se considera como euritermo, localizándose en aguas con un amplio rango superficial de temperaturas, que oscilan entre los 15 y los 28°C mayormente, incluso hasta 30–32°C en las zonas ecuatoriales (Markaida, 2001). Se encuentra a lo largo de la plataforma continental incluso se han capturado organismos en profundidades de 1,200 m, puede alcanzar una longitud del manto de 120 cm y pesar hasta 65 kg (Nevárez–Martínez *et al.*, 2006).

Es probable que el calamar gigante migra del Pacífico hacia el Golfo de California durante las estaciones de otoño–invierno y retorne durante primavera–verano (Morales–Bojórquez *et al.*, 2001a). Los picos de reproducción han sido detectados en el invierno y el verano dentro de las aguas del Golfo de California (Ehrhardt, 1991; Hernández–Herrera *et al.*, 1996; Markaida & Sosa–Nishizaki, 2001; Bazzino *et al.*, 2007).

En general, los calamares durante su ciclo de vida se desarrolla dentro de condiciones ambientales cambiantes pero estos se adaptan a características particulares de esos ambientes (Anderson & Rodhouse, 2001). Sin embargo, las poblaciones explotadas de calamares se desarrollan bajo otras condiciones oceanográficas como zonas de surgencias y giros subtropicales donde su ciclo de vida con respecto a las características ambientales no ha sido del todo comprendido (Anderson & Rodhouse, 2001). Al probar la relación existente entre los calamares y su ambiente se habrá conseguido un buen entendimiento sobre su ciclo de vida, esto sugiere la conveniencia de realizar estudios espaciales y temporales que permitan probar la hipótesis de que las interrelaciones entre el ambiente oceanográfico y la variabilidad de las poblaciones de calamar son estrechas (Anderson & Rodhouse, 2001)

El presente trabajo tiene como finalidad determinar la abundancia y distribución de *D. gigas* en la región central del Golfo de California así como definir el conjunto de condiciones oceanográficas en las cuales habita esta especie y analizando su posible relación con diferentes variables ambientales (temperatura superficial del mar, salinidad, productividad primaria neta y batimetría).

2. ANTECEDENTES

La pesquería de calamar gigante en el Golfo de California comenzó en 1974 con una pequeña flota artesanal de pequeños botes llamados pangas, usando motores fuera de borda con un promedio de dos pescadores por embarcación con una potera de mano por cada pescador (Ehrhardt *et al.*, 1982, 1983). Esta flota trabajó por dos o tres meses durante el verano cuando el stock se encontraba cerca de la costa; en esa etapa la producción fue escasa y se consumió localmente. En 1978 parte de la flota arrastrera dedicada a la captura de camarón del Golfo de California fue adaptada equipándola con seis pescadores con líneas de mano y con poteras por embarcación incorporando estos barcos a la pesquería de calamar en el golfo (Ehrhardt *et al.*, 1982, 1983; Morales–Bojórquez *et al.*, 2001a).

Durante el periodo 1979–1981 se registró una alta abundancia de calamar gigante en el Golfo de California, lo cual provocó la conversión de una flota de 285 barcos camaroneros adaptados a su pesca, además de 15 barcos japoneses con un sistema de poteras automáticas y pequeñas flotas artesanales que usaban poteras de mano en cada bote (Ehrhardt *et al.*, 1982, 1983; Morales–Bojórquez *et al.*, 2001b)

De 1983 a 1987 la pesquería prácticamente desapareció debido a que la abundancia del stock se vio reducida. La causa del colapso no fue establecida, pero se relacionó con las condiciones desfavorables del evento El Niño 1982–1983 (Klett, 1996). De 1989 a 1992 una pequeña flota de seis barcos japoneses equipada con sistemas automático de poteras realizó pesca exploratoria en el noroeste de México donde se notó la abundancia importante de este recurso (Morales–Bojórquez *et al.*, 2001a).

Durante 1994 se observó un claro incremento en la abundancia de calamar gigante en el Golfo de California, alcanzando para 1996-1997 una producción anual total de alrededor de 140,000 toneladas (Nevárez–Martínez *et al.*, 2000, 2006; Morales–Bojórquez *et al.*, 2001a). Esta captura fue obtenida con tres flotas; la de embarcaciones menores de Santa Rosalía, B. C. S., la de embarcaciones menores

de Guaymas, Sonora y la de barcos mayores de Guaymas (flota de barcos camaroneros adaptados para la pesca de calamar; Morales–Bojórquez *et al.*, 1997, 2001a; Nevárez–Martínez *et al.*, 2006). Para el año de 1998, en coincidencia con el evento de El Niño, se registró un decremento en las capturas llegando a menos de 30,000 t (Lluch-cota *et al.*, 1999; Morales–Bojórquez *et al.*, 2001a; Nevárez–Martínez *et al.*, 1999, 2000, 2006, 2010). Durante ese año, la población de *D. gigas* mostró un cambio en su distribución expandiéndose hacia el sur de Santa Rosalía, B. C. S., reportándose un incremento en las capturas en Loreto, B. C. S., así como alrededor del área de la Bahía de La Paz principalmente en El Sargento donde la pesquería se estableció por casi tres meses (Morales–Bojórquez *et al.*, 2001a). Incluso, durante ese año, las capturas más importantes de calamar gigante se realizaron fuera del golfo, frente a las costas de Bahía Magdalena (Nevárez–Martínez *et al.*, 1999, 2000, 2006, 2010). En 1999 en coincidencia con el fenómeno de La Niña se capturaron casi 60,000 t en el Golfo de California. Del 2001 a 2004 las capturas han alcanzado valores medios de 86,000 toneladas (Nevárez–Martínez *et al.*, 2010), seguidas de una disminución a valores alrededor de las 54,000 t, durante 2005 y 2007, aunque en 2008 se incrementó de nuevo a niveles de 72,000 t (Anónimo, 2010).

Históricamente han sido relativamente pocos los trabajos realizados sobre aspectos de distribución y abundancia para el calamar gigante *D. gigas* en México, específicamente en el Golfo de California.

Hernández–Herrera *et al.* (1998) propusieron una estrategia de manejo para la pesquería del calamar gigante en el Golfo de California basados en la presencia de una sola cohorte; estimaron la abundancia mediante el método de área barrida y realizaron una simulación mediante un análisis de población virtual (APV) y estos autores estimaron una biomasa de calamar gigante de 171,150 t con información independiente a la pesquería.

Nevárez–Martínez *et al.* (2000) realizaron un estudio orientado a estimar la distribución y biomasa del calamar gigante en el Golfo de California, para lo cual colectaron datos durante 20 días en los meses de mayo y junio de 1996, a bordo del

barco de investigación BIP XI, perteneciente al Instituto Nacional de Pesca (INAPESCA). Utilizaron para las estimaciones el método de área barrida y el método de muestreo estratificado simple, estimando una biomasa entre 85,500 y 118,500 t en toda la zona de estudio, no encontrando una relación cualitativa (sin soporte estadístico) entre la temperatura del agua y la distribución y abundancia del recurso desde la superficie hasta los 70 m de profundidad.

Morales–Bojórquez *et al.* (2001c) estimaron el tamaño de la población y evaluaron la explotación del calamar gigante en el Golfo de California mediante el análisis de la Captura por Unidad de Esfuerzo (CPUE) durante el periodo de octubre de 1995 a marzo de 1996 en las zonas de Santa Rosalía, B.C.S. y Guaymas, Sonora, obteniendo una biomasa promedio de 82,000 t con oscilaciones entre las 63,000 y 97,000 t.

Por otra parte, Rivera–Parra (2001) evaluó la población del calamar gigante en el Golfo de California, estimó la abundancia y distribución de *D. gigas* de 1996 a 1999 a través de registros de cruceros realizados por el Instituto Nacional de Pesca en la parte central del Golfo de California; entre otros resultados, encontró que las biomásas estimadas de calamar gigante variaron desde 94,000 t en mayo de 1996 hasta un máximo en octubre de 1996 de 171,000 t, cayendo en el siguiente crucero (noviembre de 1997) a 36,000 t. En mayo de 1998 la biomasa fue de 16,000 t, disminuyendo hasta alcanzar un mínimo de 3,000 t en noviembre-diciembre de 1998. Finalmente se encontró una recuperación de la población con un nivel estimado de 30,000 t para mayo de 1999. El autor reportó que el recurso se encuentra ampliamente distribuido en el Golfo de California, con abundancias mayores al sur de Bahía Kino, B.C.S. frente a Santa Rosalía, B.C.S. y concentraciones menores al sur de Yavaros, Sonora y Loreto, B.C.S.

Martínez–Aguilar *et al.* (2004) realizaron un diagnóstico de la pesquería de *D. gigas* en el Golfo de California en el cual obtuvieron muestras de la pesca artesanal de Santa Rosalía, B.C.S. de mayo a octubre de 2002. En este trabajo se reportan estimaciones de abundancia de calamar con base en datos de captura y tasas

instantáneas de mortalidad natural (M) y por pesca (F), entre otros resultados los autores obtuvieron una biomasa calculada de 31,244 t durante este periodo.

Una característica importante de la pesquería de calamar gigante es su gran variabilidad interanual en la biomasa explotable, por lo que la influencia en la CPUE puede deberse a la interrelación de tres factores: fuertes fluctuaciones ambientales, extensas migraciones e interacción con la pesquería de camarón (Morales–Bojórquez *et al.*, 2001a).

Recientes investigaciones indican que las variables ambientales juegan un papel importante en los calamares e influyen en los cambios de su abundancia y distribución (Anderson & Rodhouse, 2001), de la misma manera otras investigaciones (Nevárez-Martínez *et al.*, 1999, 2002, 2008) atribuyen los cambios a las variaciones en la disponibilidad de las presas, afectada por la variabilidad ambiental, tal como el fenómeno de El Niño, que modifica los ecosistemas pelágicos del Golfo de California y las costas de Perú (Markaida, 2006). Como en la mayoría de los Omostrefidos, *D. gigas* es de vida corta con distribución y abundancias ampliamente variables (Taipé *et al.*, 2001)

Taipé *et al.* (2001) y Waluda y Rodhouse (2006) analizaron la relación de la distribución y abundancia de *D. gigas* en las costas de Perú y su relación con diferentes variables ambientales. En el Golfo de California, se tienen los reportes de Brito–Castillo *et al.* (2000) que correlacionaron la temperatura superficial del mar (TSM) con la abundancia relativa. Sin embargo, Nevárez–Martínez *et al.* (2008), con base en un análisis cuantitativo, proponen que las fluctuaciones en la captura de calamar gigante se deben a cambios físicos y biológicos en el hábitat de la especie, especialmente en términos de sus presas, las que a su vez pueden promover cambios en la distribución y abundancia de *D. gigas*.

Otros autores como Rodhouse *et al.* (1998) y Anderson y Rodhouse (2001) mencionan que la variabilidad ambiental es quizá la que juega el papel más importante en la abundancia y reclutamiento de los stocks de calamares año con año. Es por esto que se han realizado diversos estudios que aborden las posibles

relaciones entre los calamares y el ambiente, pero para el caso específico del calamar gigante *D. gigas* son realmente muy pocos los trabajos realizados al respecto. Taipé *et al.* (2001) analizaron las concentraciones y distribución de *D. gigas* en las costas de Perú detectando cambios importantes causados por el evento de El Niño y encontraron también que el rango de temperatura superficial del mar en el que se distribuye esta especie cambia inter anualmente.

Para otras especies de calamares se destacan los trabajos de Brodziak y Hendrickson (1999) que analizaron los efectos ambientales sobre las capturas del calamar *Loligo pealei* e *Illex illecebrosus* en el Atlántico norte; Waluda *et al.* (2001) evaluaron la relación entre la distribución y abundancia de *Illex argentinus* con respecto a los cambios oceanográficos a mesoescala en las Islas Falkland (Islas Malvinas); Anderson y Rodhouse (2001) analizaron la importancia de la variabilidad ambiental sobre el ciclo de vida de los calamares omastrefidos; y finalmente Waluda *et al.* (2004) examinaron el efecto del índice de oscilación del sur (SOI) y el índice transpolar (TPI) sobre las abundancias de seis especies de calamares en el hemisferio sur, encontrando cierta relación entre estas variables.

Aunque existen diversas técnicas estadísticas que son de mucha utilidad para la exploración de las posibles relaciones existentes entre variables ambientales y respecto a la distribución y biomasa de organismos acuáticos, pocas de ellas son capaces de integrar el efecto global de dichas variables. Al respecto, Una técnica estadística no paramétrica para modelar variables que difícilmente presentan relación lineal entre ellas, son los árboles de regresión y clasificación (CART, por sus siglas en inglés). El uso de los CART para modelar situaciones reales tuvo su origen en las ciencias sociales (Sonquist & Morgan, 1964) pero fue hasta el trabajo de Breiman *et al.* (1984) que se hicieron más populares en la ciencia. Se le denomina árbol de regresión cuando la variable de respuesta es continua y árbol de clasificación cuando la variable de respuesta es discreta (De´Ath & Fabricius, 2000). Los CART han sido muy utilizados en inteligencia artificial (Crawford, 1989), medicina (Efron & Tibshirani, 1991), reconocimiento óptico de caracteres (Chou, 1991), clasificación de combustibles (Dymond & Luckman, 1994) y para el área de ecología De´Ath &

Fabrizius (2000) propusieron el uso de los CART como una herramienta útil y simple debido a que son adecuados para explicar relaciones complejas entre variables que no necesariamente presentan relación lineal y sus resultados son fácilmente interpretables.

3. JUSTIFICACIÓN

La región central del Golfo de California y el mar de Perú son catalogadas como las dos zonas más importantes del Pacífico Oriental para la captura y aprovechamiento del calamar gigante (Morales-Bojorquez *et al.*, 2001c; Taipé *et al.*, 2001; Nevárez–Martínez *et al.*, 2006). En el caso del golfo, *D. gigas* representa importantes divisas para los estados de Baja California Sur y Sonora, en específico las zonas de Santa Rosalía B.C.S. y Guaymas, Sonora. Sin embargo, en la actualidad, no existe una norma oficial mexicana (NOM) que regule esta pesquería.

El calamar gigante en el golfo históricamente ha presentado diversas problemáticas que indican la necesidad de realizar investigaciones detalladas sobre este recurso; producciones inestables a través de los años lo que provoca pérdidas económicas de inversionistas nacionales y extranjeros por la falta de estudios actualizados que permitan plantear estrategias de manejo adecuadas para la regulación de la pesquería.

La producción inestable de *D. gigas* en el Golfo de California ha sido atribuida a los cambios en las condiciones ambientales debido a que estos alteran los procesos biológicos (reproducción y crecimiento) y ecológicos (alimentación) (Nevárez–Martínez *et al.*, 2002, 2006, 2008). Sin embargo, está hipótesis no ha sido probada, lo que sugiere la necesidad de que se realicen estudios específicos, entre otros, sobre distribución y abundancia y su posible relación con las variables ambientales que faciliten la comprensión del comportamiento de esta especie.

4. OBJETIVOS

4.1 Objetivo General

Determinar la variación de la distribución y biomasa de la población de calamar gigante *D. gigas* en la región central del Golfo de California y su relación con factores ambientales.

4.2 Objetivos específicos

- Estimar la biomasa disponible histórica del calamar gigante *D. gigas* en la parte central del Golfo de California mediante registros independientes a la pesquería.
- Determinar la distribución de *D. gigas* en la zona de estudio en relación a las capturas, sexo, grado de madurez y talla.
- Determinar la posible relación de la variabilidad ambiental con las fluctuaciones de la abundancia y distribución del calamar gigante.

5. MATERIAL Y MÉTODOS

5.1 Área de estudio

El Golfo de California representa el 20% del total de la extensión costera mexicana y su área es muy reducida en comparación con las dimensiones del Océano Pacífico. El agua que se encuentra en el golfo proviene principalmente de la región tropical oriental del Océano Pacífico (Fig. 1; Rivera–Parra, 2001).

El Golfo de California, es una extensión del Océano Pacífico y se ubica entre la península de California y los estados de Sonora y Sinaloa, al noroeste de México. Tiene aproximadamente 1,130 km de longitud y desde 80 a 209 km de amplitud (Lluch–Cota *et al.*, 2007). Además de ser considerado como cuenca de evaporación, el Golfo de California presenta condiciones especiales de entrada y salida, mezcla y hundimiento de las masas de agua, con la consecuente formación de frentes y giros que varían de acuerdo a la profundidad y época climática (Soto–Mardones *et al.*, 1999; Espinosa–Carreón & Valdez–Holguín, 2007). Con base en diferentes condiciones oceanográficas el Golfo de California ha sido subdividido en diferentes regiones siendo una de las más comunes la división norte, centro y sur (Roden & Groves, 1959).

El Golfo de California ofrece un medio ambiente contrastante a sus habitantes, con factores muy cambiantes como temperaturas extremas, mareas de gran amplitud y un mínimo de oxígeno muy marcado y por otra parte, una productividad alta (Álvarez-Borrego & Schwartzlose, 1979; Markaida, 2001). Las capturas obtenidas en esta región están compuestas principalmente por pelágicos menores, camarones y jaibas, peces demersales y calamar gigante (Anónimo, 2010).

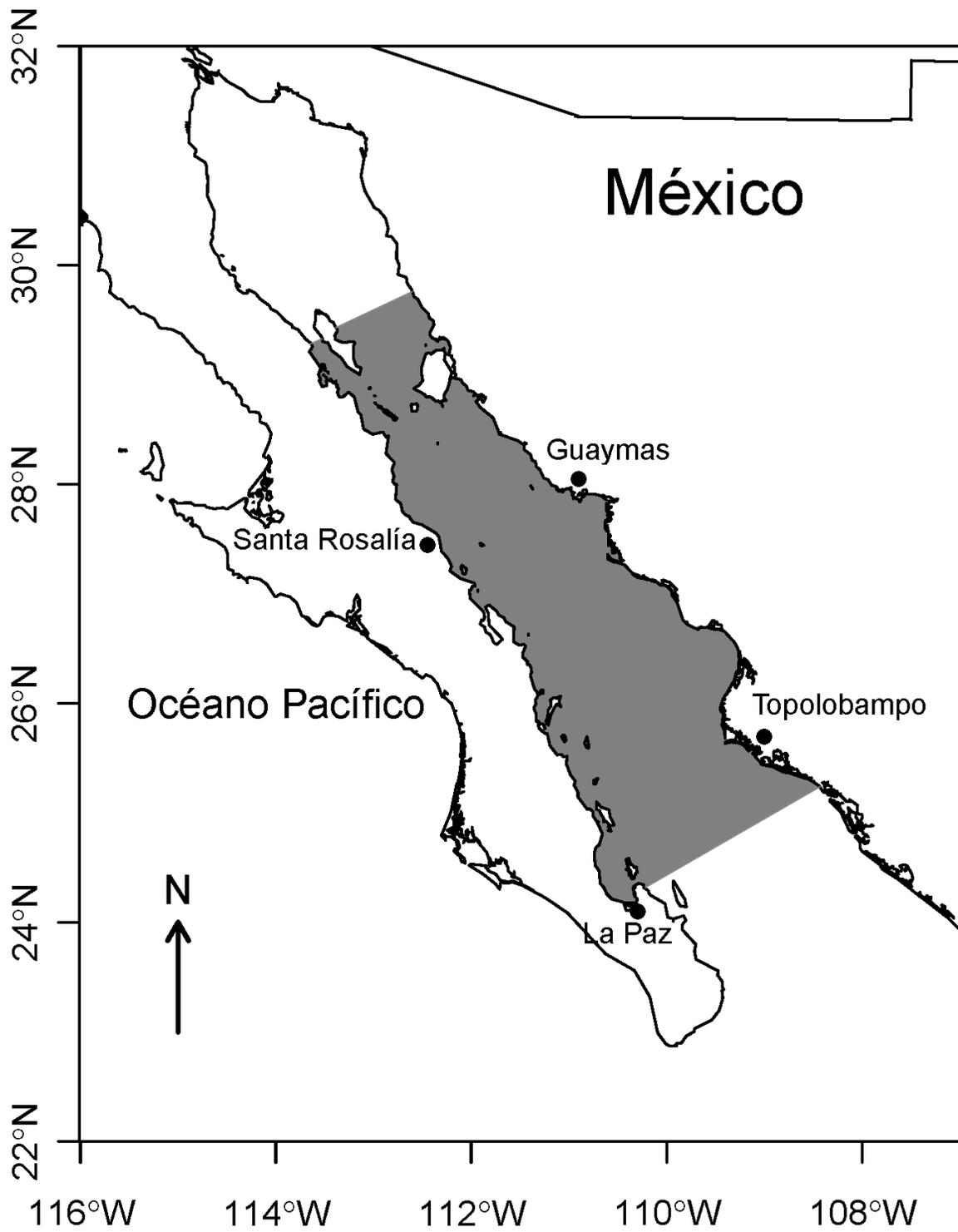


Figura 1.- Área de estudio. Zona gris.

La región central del Golfo de California es muy dinámica debido a las corrientes de marea, el esfuerzo del viento, surgencias y un calentamiento elevado. Las surgencias ocurren frente a la costa oriental con vientos del noroeste (condiciones de invierno) de diciembre a mayo, y frente a la costa de Sonora con vientos del sureste (condiciones de verano) de julio a octubre, con junio y noviembre como periodos de transición (Valdez–Olguín *et al.*, 1999)

En esta región, la temperatura superficial del mar muestra una marcada diferencia entre el invierno y el verano alcanzando valores de 16 a 31°C, respectivamente. También ocurren mínimos de salinidad en la capa superficial, cuyo origen probable es una corriente que fluye a lo largo de la costa este hacia el noroeste (Soto–Mardones *et al.*, 1999).

En el Golfo de California, según Torres–Orosco (1993), se presentan 6 masas de aguas que tienen como característica intervalos muy marcados de salinidad y temperatura: el agua del Golfo de California ($S \geq 35.0$ UPS, $T > 12.0^\circ\text{C}$), el agua superficial ecuatorial ($S < 35.0$ UPS, $T \geq 18.0^\circ\text{C}$), el agua de la corriente de California ($S < 34.5$ UPS, $12.0 \leq T^\circ\text{C} < 18.0$), el agua subsuperficial subtropical ($34.5 < S \text{ UPS} < 35.0$, $9.0 \leq T^\circ\text{C} < 18.0$), el agua intermedia del Pacífico ($34.5 \leq S \text{ UPS} < 34.8$, $4.0 \leq T^\circ\text{C} < 9.0$) y el agua profunda del Pacífico ($S > 34.5$ UPS, $T < 4.0^\circ\text{C}$). Poco más del 70% del volumen total del Golfo de California es ocupado por las masas de agua intermedia (33%) y profunda del Pacífico (41%), el 19% por el agua subsuperficial subtropical y la porción restante es contribuido por el resto de las masas de agua.

Los resultados de las observaciones sobre años de El Niño han mostrado una anomalía positiva en la temperatura superficial del mar más temprana, más profunda y más persistente a lo largo del golfo, lo que a su vez sugiere una mayor penetración y permanencia de aguas ecuatoriales asociadas con anomalías positivas del nivel del mar observándose una mayor incidencia de tormentas y un aumento neto en la precipitación (Sancetta, 1995; Salinas–Zavala *et al.*, 1998; Bernal *et al.*, 2001).

Tanto el agua del Golfo de California como el agua superficial ecuatorial se encuentran aproximadamente de la superficie a 150 m de profundidad, la diferencia consiste en que la segunda masa de agua se presenta después de los 600 km de la costa. El agua subtropical subsuperficial se localiza desde los 150 m hasta los 500 m de profundidad y aproximadamente a una distancia posterior a los 400 km de la costa. El agua intermedia del Pacífico se localiza por debajo de los 500 m de profundidad hasta los 1,200 m más allá de los 400 km de la costa; finalmente, el agua profunda del Pacífico se localiza más profundo de los 1,200 m hasta 3,500 m o más de los 450 km de la costa en adelante (Rivera–Parra, 2001).

El agua intermedia del Pacífico es dominante en la región central del Golfo de California (50%) y su desplazamiento hacia el interior del golfo coincide con la isóbata de 500 m (Torres–Orosco, 1993).

Los organismos que habitan en el Golfo de California corresponden a las provincias zoogeográficas Panámica y Ecuatorial puesto que su única fuente es el agua Ecuatorial (Phleger, 1963).

5.2 Origen de los datos

5.2.1 Cruceros de investigación

Los datos que se utilizaron en el presente trabajo fueron obtenidos de los cruceros de 15 días realizados durante los meses de noviembre de 1997, mayo y noviembre de 1998, junio de 2002, febrero y junio de 2003, mayo de 2004, junio de 2005 y octubre de 2008 por el Buque BIP XI del Instituto Nacional de Pesca (INAPESCA) en la región central del Golfo de California. Los cruceros de pesca exploratoria abarcaron de 37 a 59 estaciones distribuidas a lo largo de diferentes transectos perpendiculares a la línea de costa (Fig. 2).

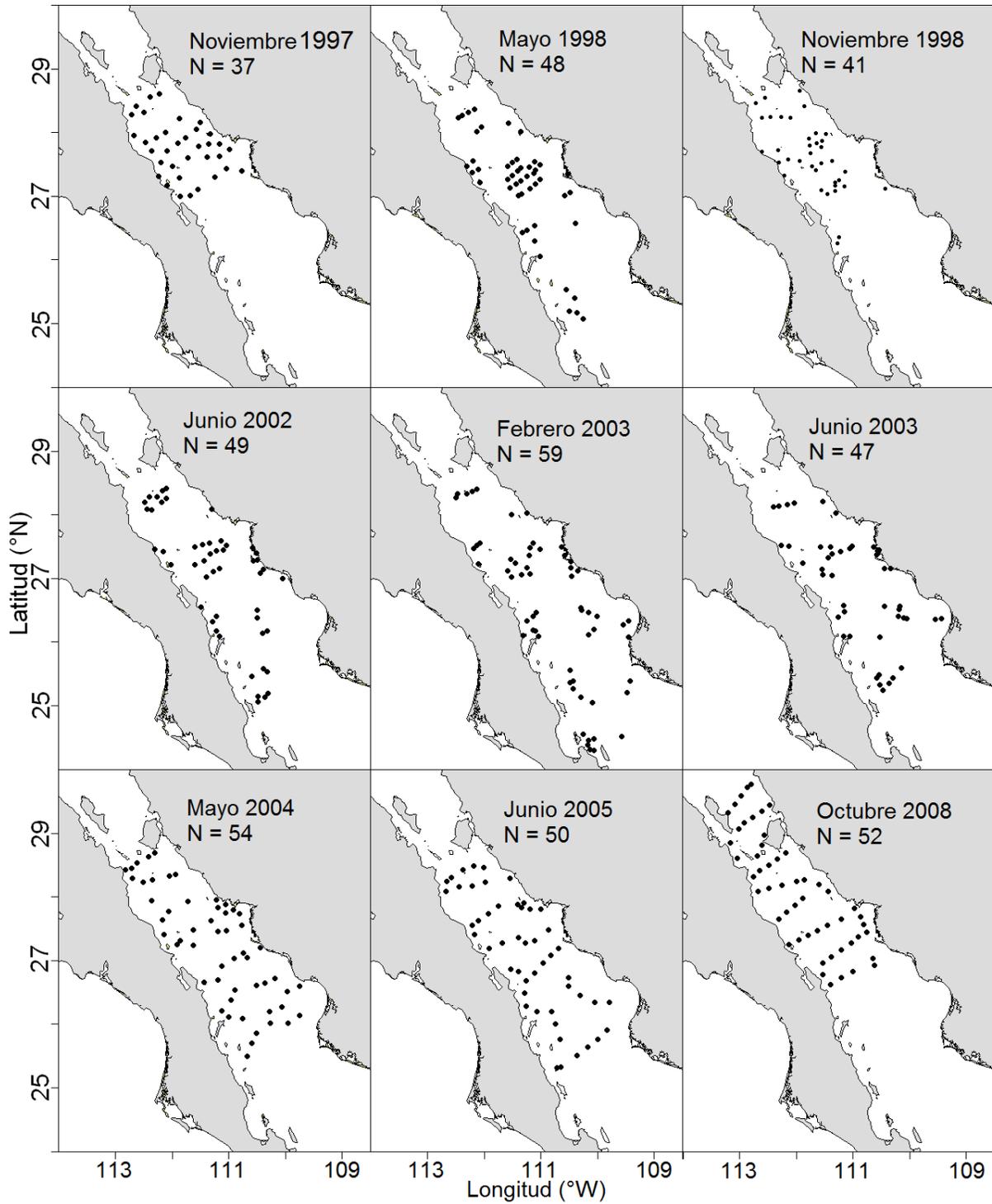


Figura 2.- Red de estaciones de muestreo de calamar gigante en el Golfo de California para cada crucero de investigación.

En cada estación las capturas se realizaron utilizando seis líneas manuales con poteras de diferentes tamaños y colores, con un sistema de iluminación y tiempos de pesca estandarizados a media hora. El sistema de iluminación fue colocado a cuatro metros sobre la cubierta del barco y a 3.5 metros de la borda, con una fuente luminosa de 1,500 Watts. En cada operación de pesca se registró la posición geográfica inicial y final del barco, el número de calamares capturados y el tiempo de luz antes del inicio de operación de las poteras (mayores detalles en Nevárez–Martínez *et al.*, 2000).

Cuando así lo permitió la captura, se midieron aproximadamente 100 ejemplares y además se seleccionaron aleatoriamente entre 20 y 25 calamares para obtener la longitud de manto (LM), registrar el sexo y la fase de madurez mediante la escala morfo cromática propuesta por Lipinski y Underhill (1995) la cual se basa en seis fases de madurez; en los cruceros de mayo y noviembre de 1998 no se obtuvieron registros sobre las fases de madurez del calamar. Para el análisis del presente trabajo se agruparon las primeras tres fases de madurez como organismos inactivos reproductivamente y las últimas tres fases como organismos activos (Díaz–Uribe *et al.*, 2006).

5.2.2 Variables ambientales

Se obtuvieron parámetros ambientales para los cruceros correspondientes a noviembre de 1997, mayo de 1998, junio de 2002, febrero y junio de 2003 y mayo de 2004. Se registró la temperatura superficial del mar y salinidad en cada estación de muestreo mediante un CTD marca Hidronaut. El valor de la temperatura superficial del mar y la salinidad fueron tomados como el promedio de los primeros 10 m de profundidad.

Por otra parte, la batimetría de la zona de estudio fue obtenida de la base de datos ETOPO 1 de la NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration) con

un minuto de arco de resolución del sitio (<http://www.ngdc.noaa.gov/mgg/global/global.html>).

Se obtuvieron imágenes de Clorofila – *a* con resolución de 9 X 9 km y promedios mensuales a través del sensor SeaWifs correspondientes al periodos de muestreos provenientes de los satélites de la serie NASA (<http://oceancolor.gsfc.nasa.gov/cgi/l3>) y del satélite geoestacionario GOES, en formatos HRPT, fueron adquiridos vía FTP.

Una vez obtenidos los valores de clorofila – *a* se procedió a estimar la productividad primaria neta (PPN) mediante una ecuación empírica propuesta por Behrenfeld y Falkowsky (1997):

$$PPN = C_{sup} \times Z_{eu} \times P_{opt}^b \times DL \times F \quad (1)$$

donde *PPN* es la productividad primaria neta ($\text{mg}/\text{Cm}^2\text{d}^{-1}$), C_{sup} son los niveles de clorofila – *a* obtenidos mediante imágenes de satélite, Z_{eu} la profundidad que recibe el 1% de la irradiancia superficial, P_{opt}^b es la máxima fijación de carbono relacionado con la clorofila dentro de la columna de agua medida bajo condiciones de los periodos de incubación de la variable de irradiancia a diferentes horas del día, *DL* es la longitud del día con fotoperiodo y *F* relación de fracción potencial de clorofila – *a* perdida dentro de la zona eufótica debido a las limitaciones de la luz.

El índice de surgencias costero (*CUI* por sus siglas en inglés) a lo largo del margen continental fue calculado utilizando registros diarios de vientos provenientes de la estación meteorológica de la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA) de Guaymas–Empalme, Sonora (Lluch–Cota *et al.*, 1999), El cual fue estimada de la siguiente manera:

$$\vec{\tau} = \rho C_d |\vec{V}| |\vec{V}| \quad (2)$$

donde $\vec{\tau}$ se le conoce como el vector de estrés, ρ es la densidad del aire (0.0012 gcm^{-3}), C_d es un coeficiente empírico (0.0013) y \vec{v} es la velocidad del viento para un vector dado.

Una vez estimado el vector de estrés se procedió a calcular el transporte de Ekman (\vec{M}) a través de la siguiente ecuación:

$$\vec{M} = \left(\frac{1}{f} \right) \vec{\tau} \vec{k} \quad (3)$$

donde \vec{k} es un coeficiente de verticalidad equivalente a uno, f es el parámetro de Coriolis (6.8×10^{-5} correspondiente a la latitud de Empalme, Sonora).

El *CUI* se obtuvo mediante el valor negativo del estimado del transporte de Ekman:

$$CUI = -\vec{M} \quad (4)$$

Finalmente, se obtuvieron valores promedios mensuales del *CUI*.

5.3 Estimaciones de biomasa

Las estimaciones de biomasa se realizaron por dos métodos: el de área barrida (Pierce & Guerra, 1994; Hernández-Herrera *et al.*, 1998; Nevárez-Martínez *et al.*, 2000; Rivera-Parra, 2001) y el método de muestreo aleatorio estratificado (Schaeffer, 1987; Nevárez-Martínez *et al.*, 2000). En ambos métodos, los periodos de iluminación de las poteras y el tiempo de pesca fueron estandarizados a media hora.

5.3.1 Método de área barrida

La estimación de biomasa (kg) se obtuvo con la siguiente fórmula:

$$Bt = \sum_{i=1}^n \left(y_i \frac{A_i}{a_i} \right) \quad (5)$$

Con varianza:

$$\hat{V}(Bt) = \sum_{i=1}^m \left(\frac{A_i^2 m_i S_i^2}{a_i^2} \right) \quad (6)$$

Donde para cada estrato i , y_i es la captura (kg), A_i es el área total dada en millas náuticas al cuadrado, a_i es el área barrida dada en millas náuticas al cuadrado, S_i^2 es la varianza de la captura (kg) y m_i es el número de operaciones de pesca.

El método de área barrida se basa en los siguientes supuestos (Csirke, 1980):

- Se considera que el área de distribución (A) de los organismos se mantiene constante y que por lo tanto la densidad promedio de la población en todo momento es directamente proporcional al tamaño total de la misma.
- La población se distribuye en forma uniforme y homogénea en el área A por lo cual las capturas en una fracción (a) de esta área representan una cantidad de individuos que es igual a la densidad promedio de la población total.
- Cada unidad de esfuerzo de pesca tiene un radio de acción determinado, de tal forma que el efecto de cada unidad de esfuerzo debe poder extenderse a un área a , que debe ser constante.
- Si además, dentro del área a , cada unidad de esfuerzo de pesca tiene la eficiencia de capturar en cada instante de tiempo sólo una fracción de los organismos existentes.

Para el caso del calamar gigante, se consideró como la unidad de esfuerzo de pesca de acción de seis poteras actuando simultáneamente y a como la distancia

derivada por el barco, por efectos de corrientes y del viento, multiplicada por el área de influencia de la luz que es de 27 m previamente calculada (Nevárez–Martínez *et al.*, 2000; Rivera–Parra, 2001).

La distancia recorrida por el barco por los efectos de vientos y corrientes fue calculada mediante los registros de las coordenadas geográficas al inicio y final de la maniobra de pesca utilizando la ecuación de Sparre y Venema (1997):

$$D = 60 \sqrt{(Lat_i - Lat_j)^2 + (Long_i - Long_j)^2 \cos^2 \left(\frac{Lat_i + Lat_j}{2} \right)} \quad (7)$$

donde D es la distancia, Lat y $Long$ son latitud y longitud respectivamente, en los puntos inicial (i) y final (j).

5.3.2 Método de muestreo estratificado

Con la finalidad de incrementar la precisión en la estimación de las biomásas se realizó una estratificación definida como una clasificación de estratos usando la captura por estación observada. Para realizar esto se usó la distribución de frecuencias del total de la captura por cada estación (Cochran, 1978).

El número de estratos fue calculado utilizando la regla de Sturges (Nevárez–Martínez *et al.*, 2000; Rivera–Parra, 2001).

$$L = 1 + (3.3 \log n) \quad (8)$$

Donde n es el número de estaciones.

El tamaño de cada intervalo fue definido por:

$$TI = \left(\frac{y_{\max} - y_{\min}}{L} \right) \quad (9)$$

donde Tl es el tamaño del intervalo, $y_{m\acute{a}x}$, $y_{m\acute{i}n}$ son las máximos y mínimos pesos en la captura total en kilogramos.

Conteo promedio en i -ésimo estrato:

$$\bar{y}_i = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^i y_{ji} \quad (10)$$

Estimador de la varianza de y_i :

$$\hat{V}(\bar{y}_i) = S^2 = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^L (y_{ji} - \bar{y}_i)^2 \quad (11)$$

Estimador del tamaño del total de la población:

$$N\bar{y}_{st} = \sum_{i=1}^L N_i \bar{y}_i \quad (12)$$

Estimando la varianza de $\hat{V}(N\bar{y}_{st})$:

$$\hat{V}(N\bar{y}_{st}) = \sum_{i=1}^L N_i^2 \left(\frac{N_i - n_i}{N_i} \right) \left(\frac{S_i^2}{n_i} \right) \quad (13)$$

Para calcular el intervalo de confianza al 95% para el tamaño de la población estimada:

$$N\bar{y}_{st} \pm 2 \sqrt{\sum_{i=1}^L N_i^2 \left(\frac{N_i - n_i}{N_i} \right) \left(\frac{S_i^2}{n_i} \right)} \quad (14)$$

donde N es el número total de unidades muestreadas en la zona de estudio, N_i es el número total de unidades muestreadas en el i -ésimo estrato, L es el número de estrato, n_i es el número de unidades muestreadas en la muestra del i -ésimo estrato, y_i es el peso promedio en el i -ésimo estrato y S_i^2 es la varianza del conteo en el i -ésimo estrato.

5.4 Distribución de frecuencias de tallas y condición reproductiva

Para realizar el análisis de la distribución de frecuencias de tallas se agruparon los datos arbitrariamente en intervalos de dos cm de LM para cada crucero. Posteriormente se llevó a cabo un análisis de progresión modal determinando las modas de la distribución de tallas, para ello se utilizó una distribución multinomial (Haddon, 2001) la cual está dada mediante la siguiente función de densidad:

$$P\{x_i | n, p_1, p_2, \dots, p_k\} = n! \prod_{i=1}^k \frac{p_i^{x_i}}{x_i!} \quad (15)$$

donde x_i es la cantidad de veces que puede ocurrir el i -ésimo evento en n muestras y p_i son las probabilidades independientes de cada uno de los k eventos posibles. La estimación de los parámetros del modelo se realizó mediante la transformación de la ecuación anterior quedando de la siguiente manera:

$$-\ln L\{x_i | n, p_1, p_2, \dots, p_k\} = \sum_{i=1}^n [x_i \ln(p)] \quad (16)$$

Un supuesto importante de esta técnica es que la distribución de tallas y cada longitud promedio puede ser tratada con base en una distribución normal y cada moda puede ser interpretada como una cohorte (Aguirre-Villaseñor *et al.*, 2006; Fournier *et al.*, 1990). Las estimaciones de las proporciones relativas esperadas de cada grupo modal se describieron con base en la siguiente función de densidad:

$$P_{L_k} = \frac{1}{\sigma_n \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(L_k - \mu_n)^2}{2\sigma_n^2}} \quad (17)$$

donde μ y σ son la media y desviación estándar de cada cohorte. Para estimar las frecuencias esperadas y estimar los parámetros del modelo, se compararon los valores observados y estimados mediante la función logarítmica de la distribución multinomial con la siguiente ecuación (Haddon, 2001):

$$-\ln L\{L|\mu_n, \sigma_n\} = -\sum_{i=1}^n L_i \ln(\hat{p}) = -\sum_{i=1}^k L_i \ln\left(\frac{\hat{L}_i}{\sum \hat{L}_i}\right) \quad (18)$$

Se estimó la edad de cada grupo modal utilizando la relación promedio calculada a partir de claves de edad–LM, propuestas por Filauri–Valencia (2005) y que presenta la siguiente ecuación de crecimiento logístico integral:

$$L_t = \frac{L_\infty}{1 + e^{-k(t-t_0)}} \quad (19)$$

donde L_t es la longitud de manto promedio de cada grupo modal al tiempo t , L_∞ es la longitud de manto máxima teórica ($L_\infty = 105.4$ cm de LM), k es la tasa de crecimiento diaria ($k = 0.0082$), t_0 es la edad en la cual se encuentra el punto de inflexión de la curva ($t_0 = 259$ días) y t es la edad en días del calamar y fue obtenida resolviéndola numéricamente con respecto a L_t con la ayuda de la rutina SOLVER incluida en el programa Excel 2007.

Por otra parte con las tallas de calamares activos reproductivamente, en las fases III a VI de madurez según Díaz–Uribe *et al.* (2006), se calculó la talla promedio de primera madurez poblacional a través del modelo logístico (Sparre & Venema, 1997):

$$P_i = \frac{1}{1 + e^{(a-bLM_i)}} \quad (20)$$

donde P_i es la proporción de organismos maduros para el i -ésimo intervalo de tallas, a y b son parámetros del modelo. Una vez obtenido el ajuste se procedió a calcular la talla promedio de primera madurez ($Lm50\%$):

$$Lm50\% = \frac{a}{b} \quad (21)$$

5.5 Distribución espacial

Fueron elaborados mapas de distribución de capturas en kilogramos por sexo, madurez reproductiva y talla utilizando la técnica de interpolación geoestadística conocida como *kriging* (Cressie, 1993). Este método consiste en estimar los pesos promedios de acuerdo a los datos observados y la tendencia espacial de los mismos describiendo su estructura mediante funciones de variogramas (Bellier *et al.*, 2007).

Debido a que se ha observado que el calamar gigante es un organismo de movimiento constante (Markaida *et al.*, 2005) fueron construidos para cada caso variogramas empíricos omnidireccionales los cuales estiman las semivarianzas promedio entre los datos de las estaciones muestreadas en todas las direcciones posibles como una función de la distancia espacial entre ellos. Para disminuir la variabilidad de los datos, se hizo una transformación ($\log_{10} + 1$) de los datos observados de las capturas medidas en kilogramos y número de organismos. Los variogramas empíricos se definen como la varianza de la diferencia existente entre los valores separados por una distancia (h) y puede ser una función de varianza y covarianza (Alarcón–Muñoz *et al.*, 2008). Los variogramas empíricos fueron estimados mediante la siguiente ecuación:

$$\gamma(h) = \frac{1}{2N(h)} \sum_{|x_i - x_j| = |h|} [z(x_i) - z(x_j)]^2 \quad (22)$$

donde $\gamma(h)$ es el variograma empírico para la distancia h , $N(h)$ es el número de pares de observaciones separadas por la distancia h , $z(x_i)$ es el valor observado en la locación x_i , $z(x_j)$ es el valor observado en la distancia h desde la locación x_i .

Con la finalidad de describir la distribución espacial de los datos observados de *D. gigas* en el Golfo de California, fueron probados dos modelos en términos de semivariograma (esférico y lineal) mediante ajuste por mínimos cuadrados utilizando la librería GeoR (Ribeiro & Diggle, 2001) del programa R (Development Core Team,

2004). Los modelos de variograma utilizados se definen por las siguientes ecuaciones:

Esférico:

$$\rho(h) = \begin{cases} 1 - 1.5 \frac{h}{\phi} + 0.5 \left(\frac{h}{\phi} \right)^3, & \text{si } h < \phi \\ 0, & \text{de otra manera} \end{cases} \quad (23)$$

Lineal:

$$\gamma(h) = \sigma^2 h^\phi, 0 < \phi < 2, \sigma^2 > 0 \quad (24)$$

donde $\rho(h)$ es una función de correlación, h es la distancia, ϕ es rango del variograma en el cual los datos ya no presentan autocorrelación, para el caso del modelo lineal $\phi = 1$ (Ribeiro & Diggle, 2001) y σ es el mayor nivel de variabilidad del variograma.

La selección del mejor modelo para cada caso fue realizada mediante dos criterios: 1) que el modelo explique espacialmente de manera adecuada a los datos observados y 2) tomando en cuenta el valor mínimo de las suma de cuadrados de los residuales.

5.6 Análisis exploratorio de la distribución y abundancia del calamar gigante con respecto a las variables ambientales mediante árboles de regresión

Con la ayuda del programa MATLAB 2009 se realizó una división de la zona de estudio en mallas de $0.33^\circ \times 0.50^\circ$ en la cual se obtuvieron los valores promedio de cada variable ambiental así como de las capturas expresadas en kilogramos (Fig. 3). Los valores promedio de las variables ambientales y las capturas de calamares fueron analizados a través de árboles de regresión la cual es una técnica estadística que sirve para el modelado de variables que difícilmente presentan relación lineal

entre ellas. Para este caso la variable independiente fue la captura de calamar con previa transformación en $\log(y + 1)$ de ambas variables mientras que las variables predictivas fueron las ambientales (temperatura superficial del mar, salinidad, batimetría y productividad primaria). Los árboles de regresión están representados en forma de árboles invertidos donde las puntas de cada rama son los valores estimados de la variable dependiente. La división de los datos en los diferentes nodos fue realizada a través de la siguiente ecuación:

$$D(t) = \sum_{i \in t} [y_i - \bar{y}(t)]^2 \quad (25)$$

donde para el nodo t , D es la devianza, y_i es cada valor de la variable dependiente (captura de calamar); \bar{y} es la media de la variable dependiente y esta es estimada mediante la siguiente ecuación:

$$\bar{y}(t) = \frac{1}{N(t)} \sum_{i \in t} y_i \quad (26)$$

donde N es el número de observaciones del nodo t .

La mejor división s^* para cada nodo t fue obtenida mediante:

$$\Delta(s^*, t) = \max \Delta(s, t) \quad (27)$$

donde $\max \Delta(s, t)$ es el valor máximo que alcanza la diferencia entre la devianza del nodo t y los dos nodos definidos mediante cada división s del nodo t y se estimó de la siguiente manera:

$$\Delta(s, t) = D(t) - D(t_{der}) - D(t_{izq}) \quad (28)$$

donde $D(t_{der})$ es la devianza del nodo derecho en la división s y $D(t_{izq})$ es la devianza del nodo izquierdo en la división s .

El criterio para detener la construcción del árbol se estableció que cada nodo terminal represente por lo menos cinco datos de las capturas de calamar y las

variables que se consideran en el árbol fueron aquellas que lograron disminuir al máximo posible la devianza nula.

Una vez construidos los árboles se estimó la importancia de cada variable $\tau(X_k)$ que participa en cada árbol en función a la devianza $D_k(t)$ que logró disminuir respecto a la $D(t)$ anterior (Roche, 2009). Para estimar lo anterior se utilizaron las siguiente ecuaciones:

$$\tau(X_k) = \frac{\sum_{t \in N_k} \Delta(s^*, t)}{\sum_{t \in N_k} D_k(t)} \quad (29)$$

donde N es el número de nodos totales donde participa la variable k . Los valores de $\tau(X)$ oscilan entre 0 y 1 siendo la variable más importante la que tenga el valor más cercano a uno la cual se le asignó el 100 y le demás variables se les asignó un porcentaje de importancia respecto a la más importante.

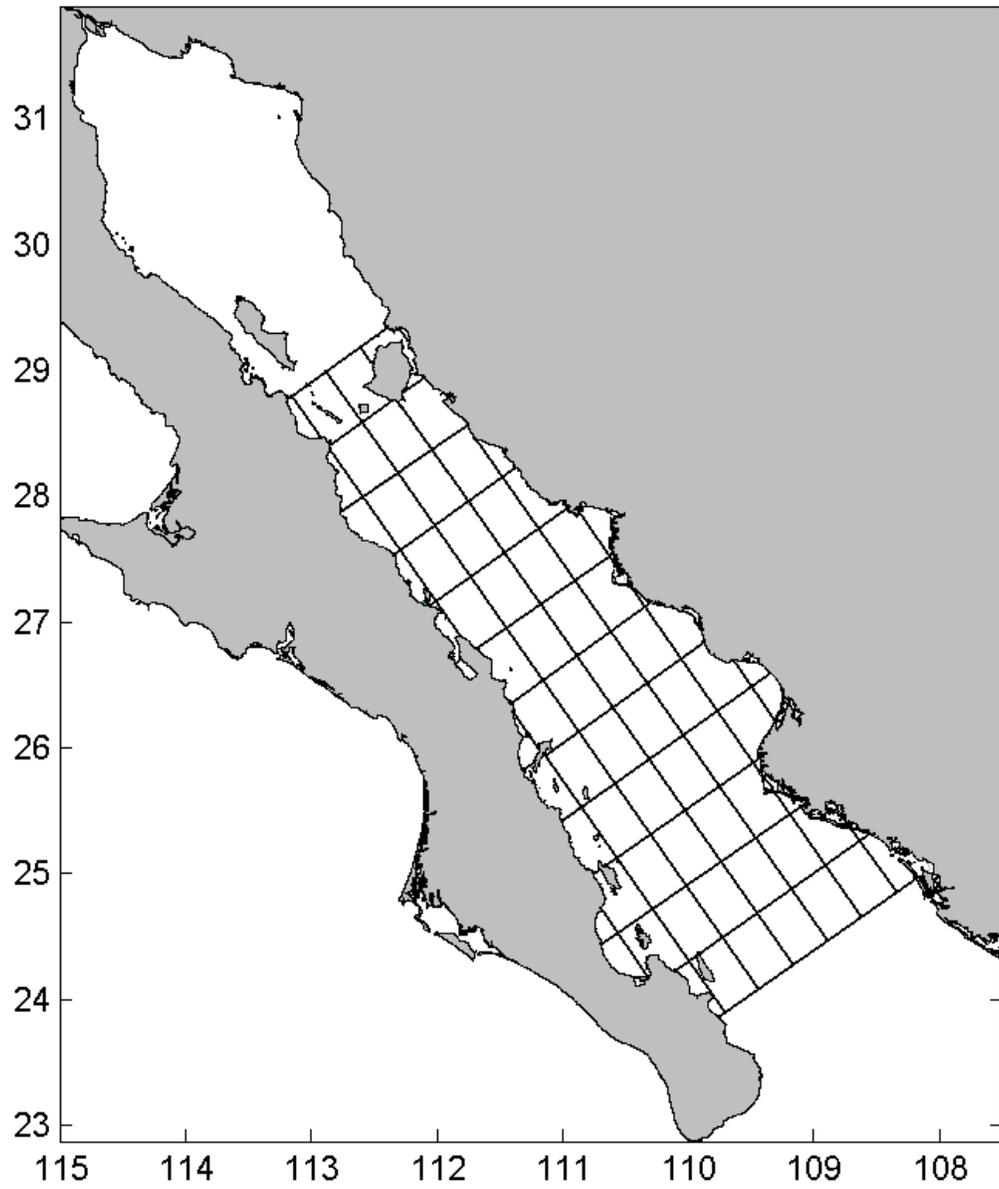


Figura 3.- División de la zona de estudio en mallas de 0.33° X 0.50°.

6. RESULTADOS

6.1 Biomasa de calamar gigante

De manera general, las estimaciones de biomasa realizadas por el método aleatorio estratificado fueron mayores que las calculadas por el método de área barrida excepto durante el crucero de junio de 2003. La sobreestimaciones del método aleatorio estratificado fueron en promedio del 20.7 % (D. E. = 27.7%), por lo tanto el método de área barrida se mostró más conservador en la mayoría de los cruceros.

La estimaciones de biomasa por el método de área barrida oscilaron entre 1,540 t para el crucero de noviembre de 1998 a 437,080 t para el crucero de febrero de 2003 que fue el que presentó las estimaciones mayores. Para el caso del método aleatorio estratificado, las estimaciones de biomasa estuvieron entre 1,746 t para el crucero de noviembre de 1998 hasta 1,053,288 t para el crucero de junio de 2005 y con casi 400,000 t para octubre de 2008 (Fig. 4).

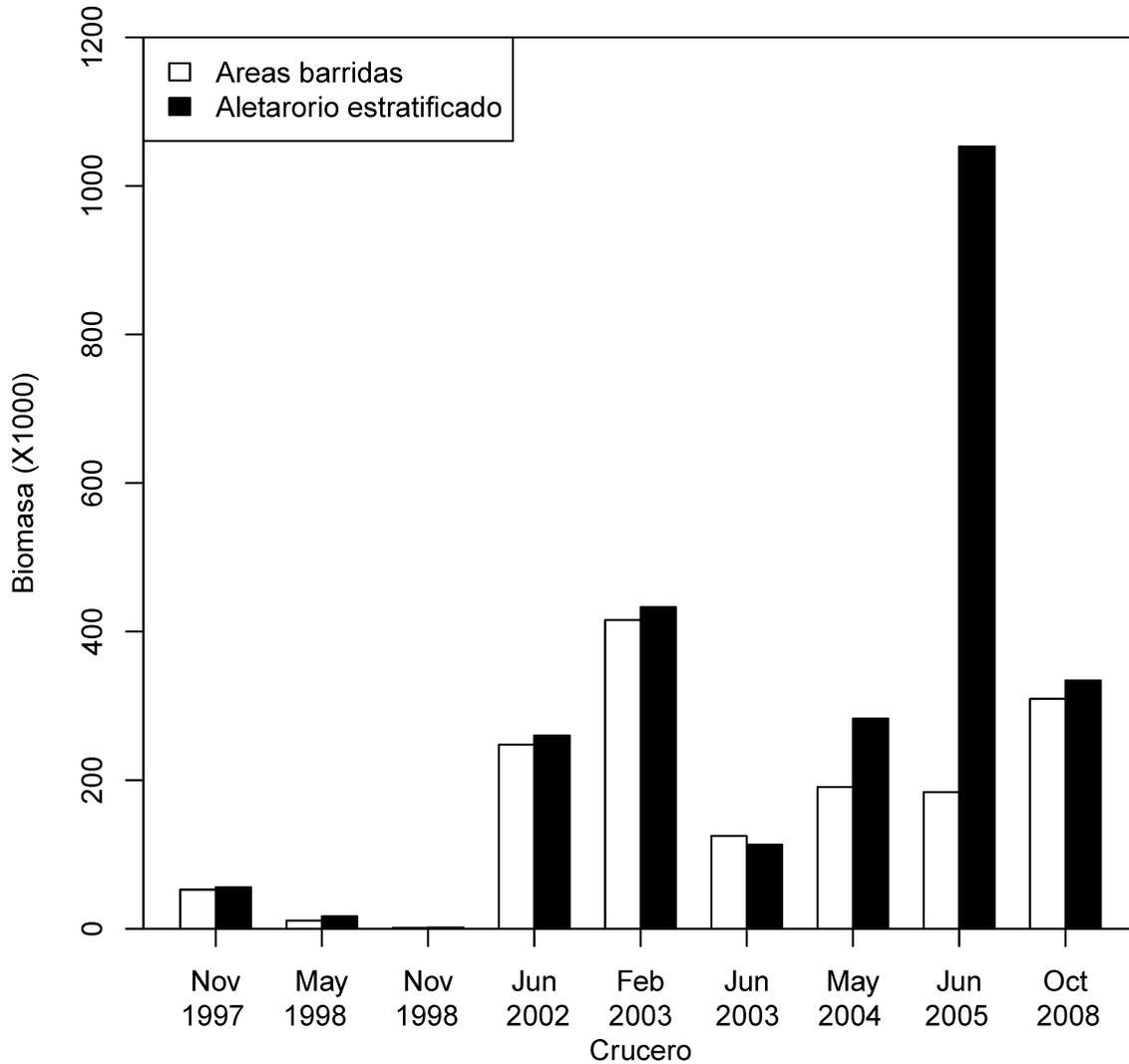


Figura 4.- Estimaciones de biomasa de calamar gigante en el Golfo de California para los cruceros de investigación. Valores dados en toneladas

6.2 Distribución de frecuencias de tallas y condición reproductiva

El número de organismos muestreados fluctuó entre 326 para el crucero de noviembre de 1997 a 1,589 correspondientes al crucero de junio de 2002. Durante octubre de 2008 se capturó el organismo con la talla más chica (16 cm LM) mientras que la talla más elevada se encontró en febrero de 2003 (96 cm LM). La talla promedio para los cruceros osciló entre 34.65 y 64.51 cm de LM (cruceros de junio de 2005 y octubre de 2008 respectivamente, Tabla 1).

Mediante el método multinomial se encontró un grupo modal en los cruceros de mayo de 2004 y octubre de 2008, en los cruceros de febrero de 2003, junio de 2003 y junio de 2005 se estimaron dos grupos modales por cada crucero y finalmente en los realizados en noviembre de 1997 y junio de 2002 se obtuvieron tres grupos modales (Fig. 5).

Tabla 1.- Número de estaciones de muestreo, rango de tallas y número de individuos muestreados de *Dosidicus gigas* por crucero.

Crucero	No. estaciones	Longitud de manto (cm)			N
		Mín	Máx	Media	
nov-97	37	24	88	64.8	326
jun-02	47	20	94	48.75	1589
feb-03	59	18	96	61	1116
jun-03	46	20	90	50	471
may-04	54	24	80	39.77	843
jun-05	50	22	90	34.65	344
oct-08	52	16	80	64.51	858

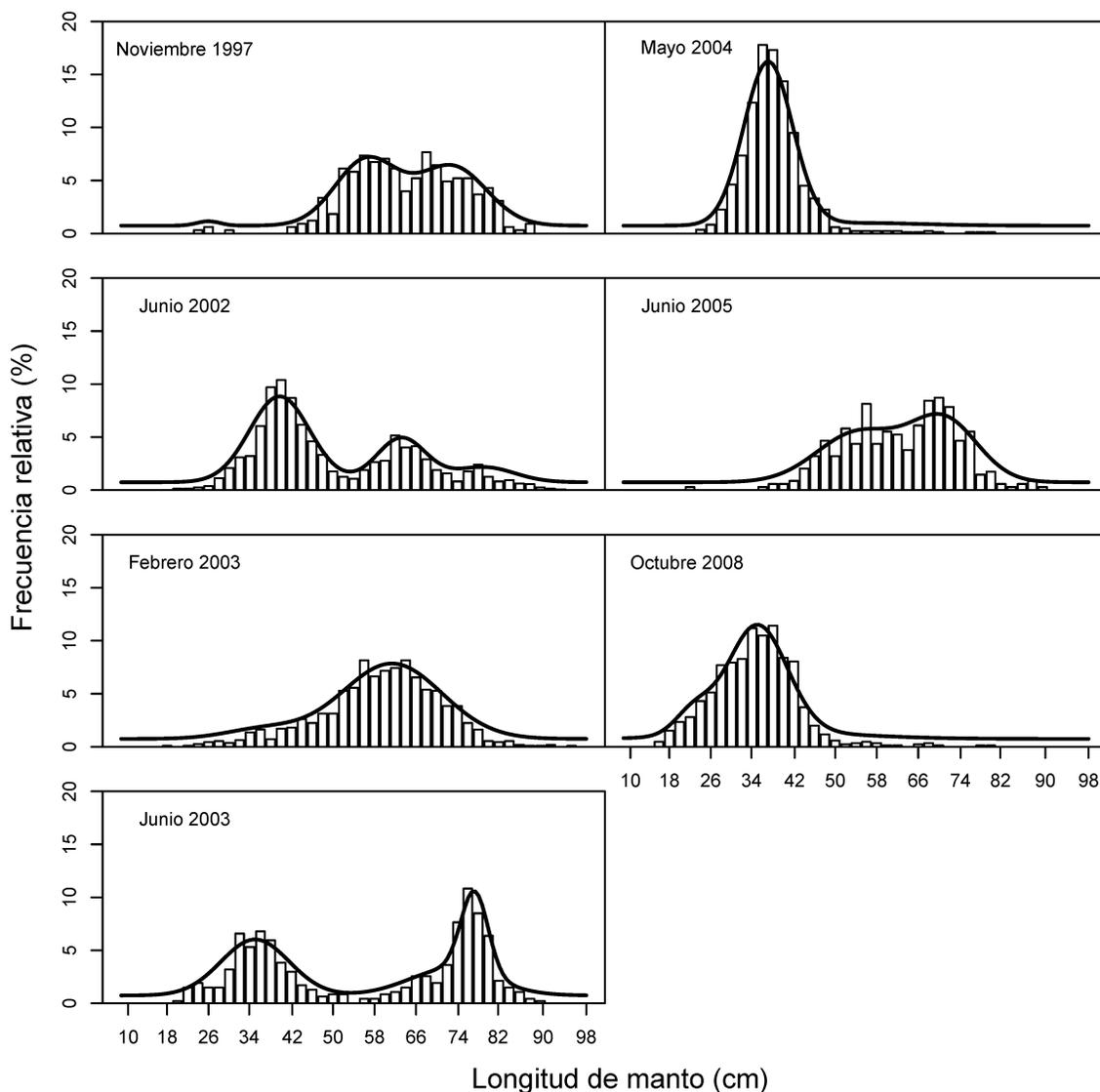


Figura 5.- Distribución de frecuencias de tallas y grupos modales estimados para *Dosidicus gigas* en el Golfo de California.

De acuerdo a las claves edad-LM existentes para esta especie en el Golfo de California (Filauri-Valencia, 2005) se calculó que los organismos de la primera cohorte estimada (entre 29.4 y 37.3 cm de LM) para todos los cruceros excepto junio de 2005 podrían tener una edad aproximada de entre 5 y 7 meses, la segunda cohorte (54.4 a 63 cm de LM) para todos los cruceros excepto mayo de 2004 y octubre de 2008 correspondería a organismos de entre 9 y 10 meses de edad y finalmente el tercer grupo modal encontrado (70.6 a 78.6 cm de LM) en los cruceros

de noviembre de 1997, junio de 2002, junio de 2003 y junio de 2005 podría tratarse de organismos de entre 12 y 13 meses de edad (Tabla 2).

Tabla 2.- Grupos modales estimados para el calamar gigante *Dosidicus gigas* en Golfo de California, México mediante la técnica de distribución multinomial (longitud de manto promedio \pm desviación estándar en cm) y periodos de eclosión. t = edad en meses y n = número de calamares por cohorte.

Crucero	Grupos modales (cm) Periodos de eclosión		
	$t = 5 - 7$	$t = 9 - 10$	$t = 12 - 13$
Noviembre de 1997	26.4 \pm 1.4 abril – agosto $n = 4$	55.1 \pm 2.3 octubre – febrero $n = 167$	70.9 \pm 2.7 octubre – febrero $n = 165$
Junio de 2002	39.9 \pm 2.3 octubre – febrero $n = 990$	63 \pm 2.1 abril - agosto $n = 446$	78.6 \pm 2.4 abril – agosto $n = 153$
Febrero de 2003	37 \pm 2.6 abril - agosto $n = 68$	61.2 \pm 3 abril – agosto $n = 1048$	
Junio de 2003	35.3 \pm 2.5 octubre – febrero $n = 219$	72.5 \pm 8 abril – agosto $n = 44$	76.8 \pm 1.5 abril – agosto $n = 208$
Mayo de 2004	37.3 \pm 2.1 octubre – febrero $n = 843$		
Junio de 2005		54.4 \pm 2.5 abril – agosto $n = 151$	70.6 \pm 2.8 abril – agosto $n = 193$
Octubre de 2008	35.2 \pm 2.3 abril – agosto $n = 858$		

Las tallas promedio de primera madurez poblacional del calamar gigante por sexos indican que, en general, las hembras maduran a tallas más grandes que los machos, sin embargo no se encontraron diferencias significativas entre las tallas promedio de madurez por sexo (ANOVA, $F_{1,12} = 0.4$, $p > 0.05$). Durante los cruceros de mayo de 2004 y junio de 2005 se estimaron las tallas promedio de primera madurez más pequeñas, por debajo de los 40 cm de LM para ambos sexos, mientras

que las tallas de madurez más altas fueron calculadas en el crucero de junio de 2003, por encima de los 70 cm de LM (Fig. 6).

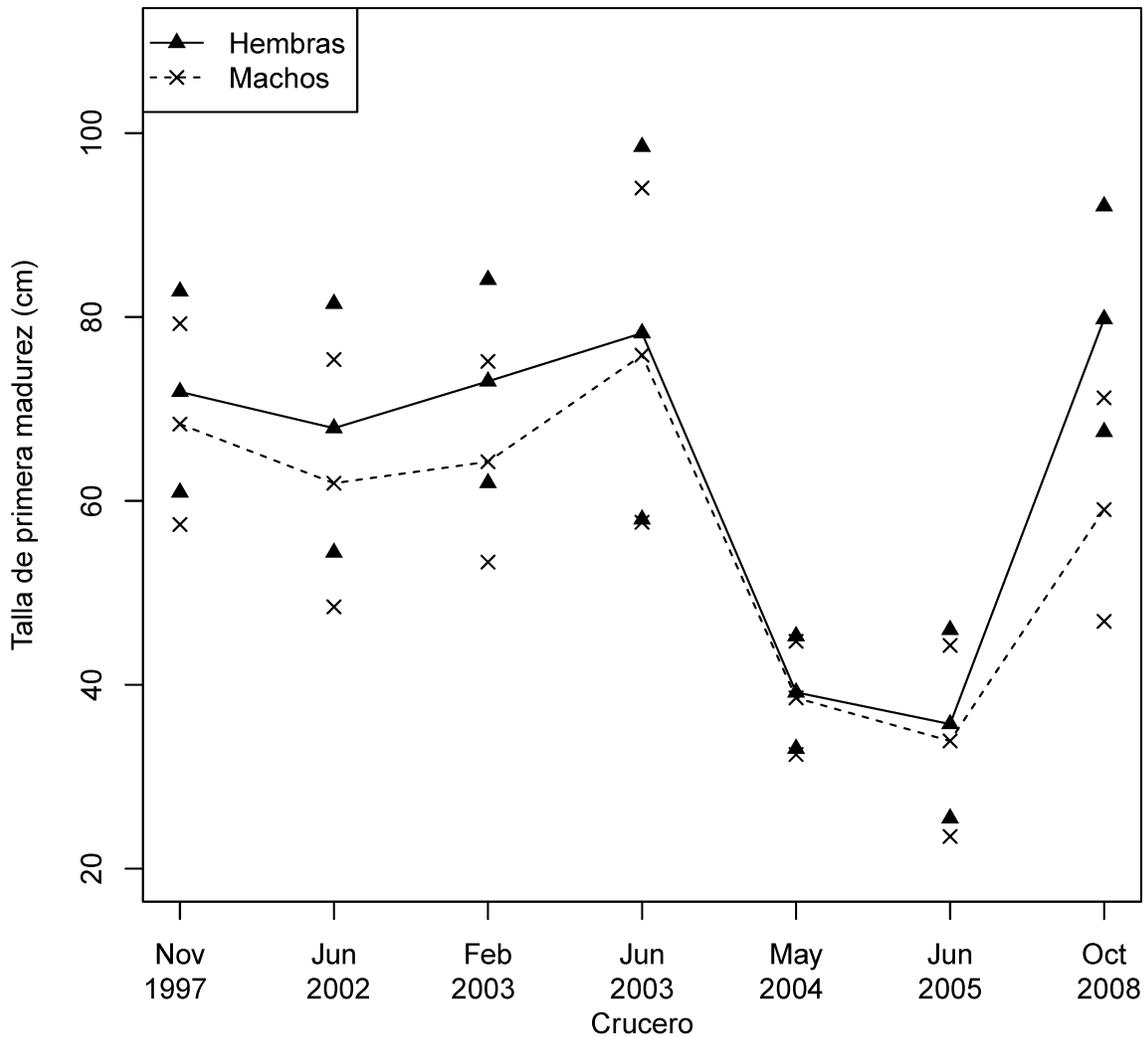


Figura 6.- Talla promedio de primera madurez en hembras y machos por crucero de investigación en el Golfo de California. x = desviación estándar de machos y ▲ = desviación estándar de hembras.

6.3 Distribución espacial de capturas

Todos los variogramas empíricos se ajustaron de mejor manera al modelo esférico con excepción del correspondiente a junio de 2005 y octubre de 2008 que fueron ajustados al modelo lineal. La distancia dada por el rango fluctuó desde 0.049 grados

para el crucero de noviembre de 1997 a 1.48 grados para el crucero de febrero de 2003 (Tabla 3 y Anexo 1).

Tabla 3.- Parámetros estimados de los variogramas empíricos de las capturas de *Dosidicus gigas* expresadas en kilogramos SC = Suma de Cuadrados. * Valores dados en Log + 1.

Crucero	Nugget*	Sill*	Rango	SC*	Modelo
Nov-97	0.3058	0.6577	0.3368	26.6891	Esférico
May-98	0.0455	0.2377	0.3275	1.4763	Esférico
Nov-98	0.0256	0.0536	0.049	0.4153	Esférico
Jun-02	0.1699	0.1495	1.0973	2.2237	Esférico
Feb-03	0.048	0.0517	1.4855	0.8505	Esférico
Jun-03	0.0026	0.1432	0.5801	7.0076	Esférico
May-04	0.0721	0.0856	1.435	0.6568	Esférico
Jun-05	0.0064	0.0016	1	0.0059	Lineal
Oct-08	0.4125	0.3551	1	12.1241	Lineal

La distribución espacial de las capturas indica que durante los cruceros correspondientes a los meses de noviembre de 1997 y 1998 las concentraciones de calamar se observaron en ambas costas del Golfo de California. Durante el crucero de febrero de 2003 la distribución de *D. gigas* se concentró principalmente en la costa este del Golfo de California específicamente en las regiones sur y norte. En mayo de 1998 y 2004 la distribución de *D. gigas* mostró mayor amplitud con concentraciones de las capturas en ambas costas del golfo principalmente en las regiones centro y norte. Durante los cruceros efectuados en junio de 2002, junio de 2003 y junio de 2005 las mayores concentraciones de calamar se encontraron ubicadas en la costa oeste del Golfo de California con abundancias mayores a 500 kg en las zonas centro y norte. Finalmente durante octubre de 2008 se observaron las mayores concentraciones de capturas de calamar en la parte noroeste del Golfo de California (Fig. 7).

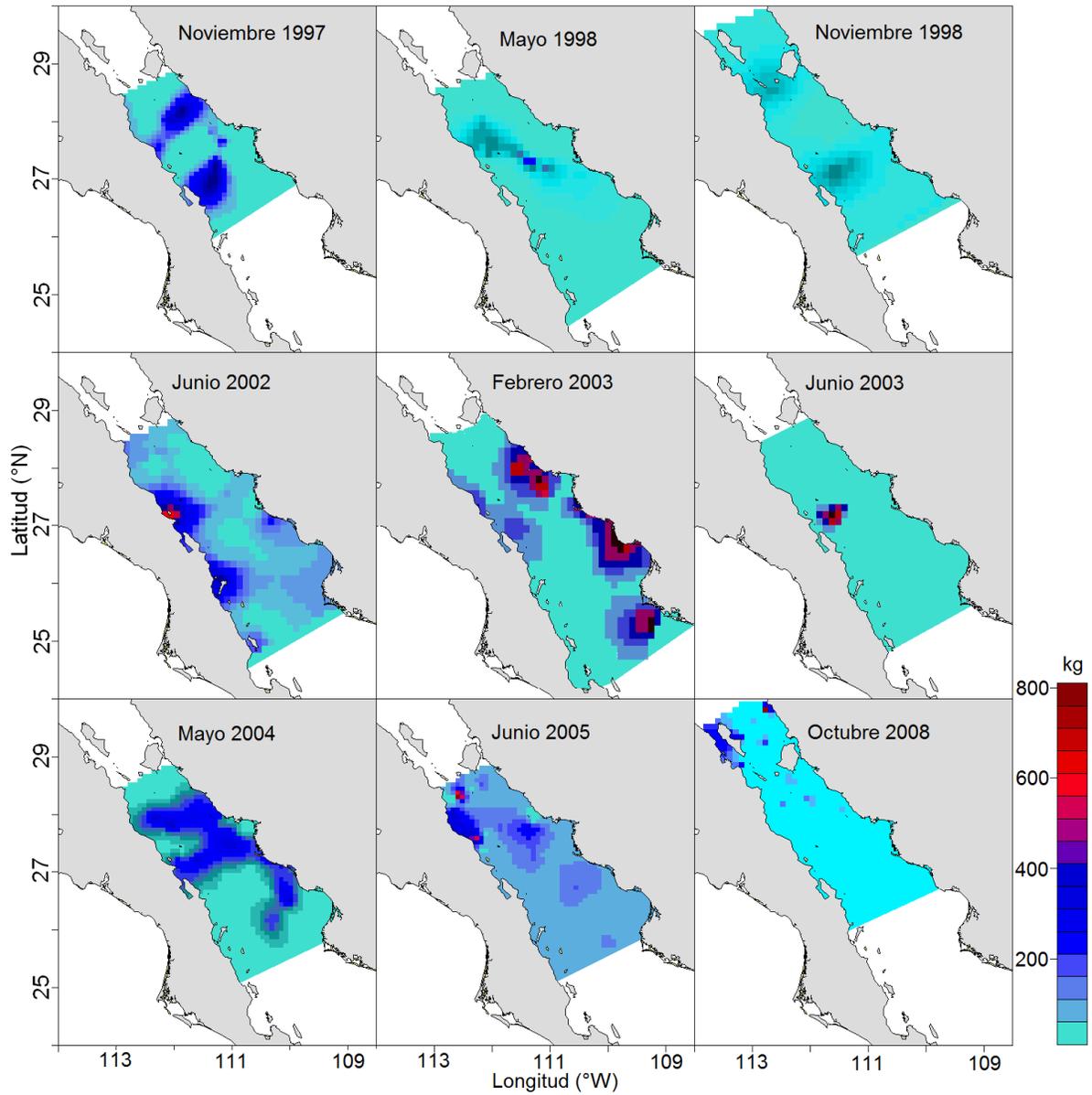


Figura 7.- Distribución espacial de las capturas en kilogramos de *Dosidicus gigas* en la región central del Golfo de California

6.4 Distribución espacial por sexo

La proporción sexos fue, en todos los cruceros, estadísticamente diferente de 1:1 (Tabla 4); el número de organismos estuvo cargado siempre a favor de las hembras

con excepción del crucero de junio de 2002 donde el número de machos fue mayor que el de hembras (Fig. 8).

Tabla 4. Proporción de sexos del calamar gigante *Dosidicus gigas* en la región central del Golfo de California. Significativo a $p < 0.05$

Crucero	Machos	Hembras	Total	Proporción (M:H)	χ^2	p
Noviembre 1997	98	228	326	0.4:1	51.8	6.02E-13
Junio 2002	616	241	857	2.6:1	82.0	1.33E-19
Febrero 2003	157	322	479	0.5:1	28.4	9.77E-08
Junio 2003	30	90	120	0.3:1	15.0	1.08E-04
Mayo 2004	56	231	287	0.2:1	53.4	2.79E-13
Junio 2005	101	384	485	0.3:1	82.6	1.02E-19
Octubre 2008	81	132	213	0.6:1	6.1	1.35E-02

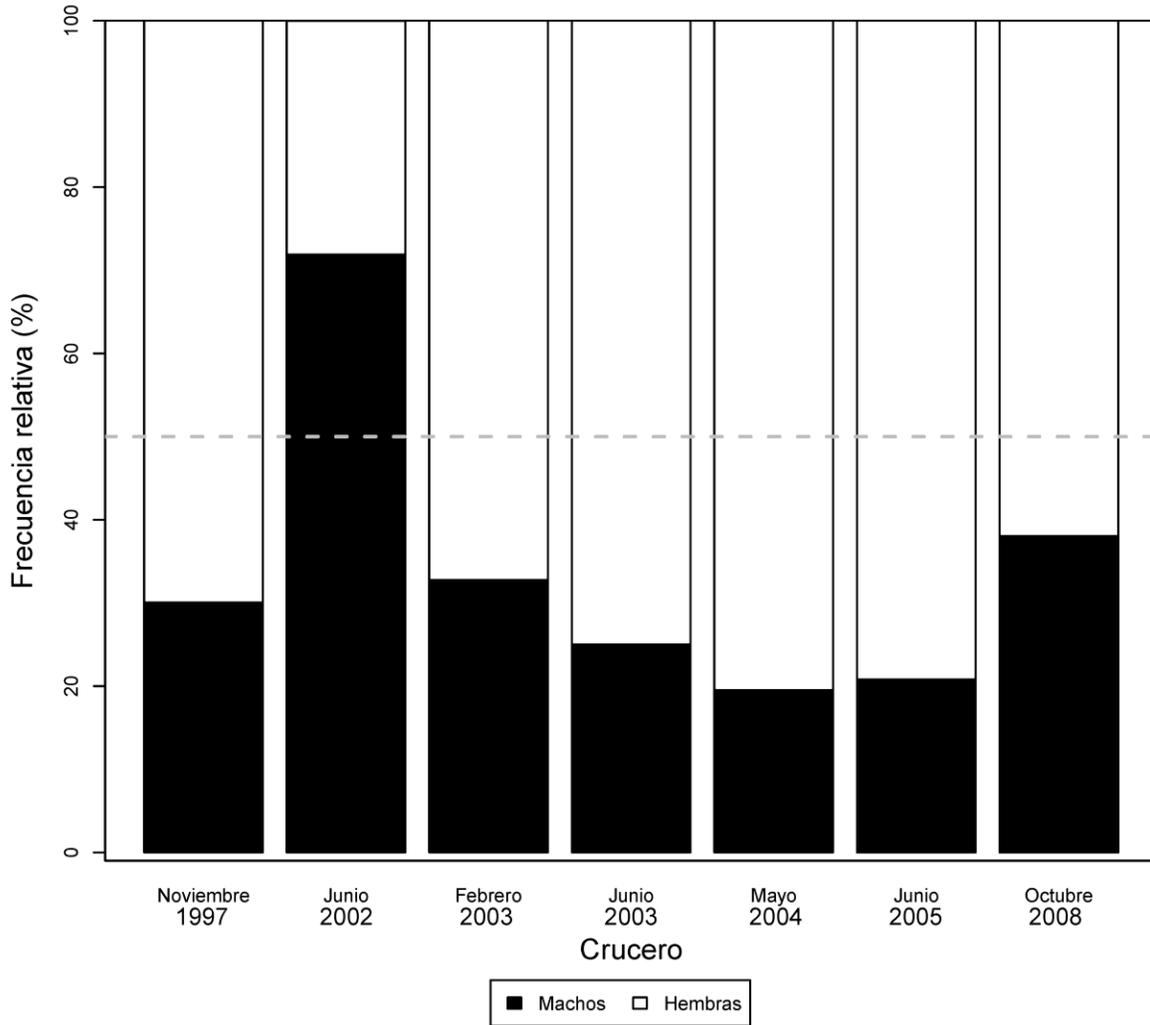


Figura 8.- Proporción de sexos de *Dosidicus gigas* por crucero de investigación en la región central del Golfo de California. La línea gris punteada indica una proporción de sexos de 1:1

Todos los variogramas empíricos contruidos para representar la distribución espacial de hembras y machos se ajustaron de mejor manera al modelo esférico, con excepción de los cruceros de junio de 2005 y octubre de 2008 que fueron ajustados a modelos lineales. Las distancias de los rangos oscilaron entre 0.1 grados para los machos del crucero de noviembre de 1997 a 1.79 grados para los machos del crucero de mayo de 2004 (Tabla 5 y Anexos 2 y 3).

La distribución espacial de los machos se presentó en áreas geográficas reducidas en comparación con la distribución observada en las hembras, las cuales

mostraron concentraciones elevadas de organismos que sobrepasaron los 45 individuos para ciertas regiones de la zona de estudio (Figs. 9 y 10).

Tabla 5.- Parámetros estimados de los variogramas empíricos de las capturas por sexos de *Dosidicus gigas* expresadas en número de organismos. SC = Suma de Cuadrados. * Valores dados en Log + 1

Crucero	Nugget*	Sill*	Rango	SC*	Modelo
Nov-97					
Machos	0.0525	0.1964	0.1	1.4926	Esférico
Hembras	0.2317	0.1114	0.6845	0.9239	Esférico
Jun-02					
Machos	0.0914	0.163	0.4	7.1418	Esférico
Hembras	0.077	0.1569	0.3	2.6711	Esférico
Feb-03					
Machos	0.0547	0.3188	0.2708	2.0369	Esférico
Hembras	0.0756	0.3894	1.5088	6.6915	Esférico
Jun-03					
Machos	0.0201	0.1766	0.2708	3.9378	Esférico
Hembras	0	0.4066	0.1865	7.9685	Esférico
May-04					
Machos	0.1353	0.0565	1.7945	1.0855	Esférico
Hembras	0.3158	0.1285	1.1877	3.424	Esférico
Jun-05					
Machos	0.1029	0.0935	0.7592	0.1528	Esférico
Hembras	0.2205	0.2152	0.5492	2.1319	Esférico
Oct-08					
Machos	0.1528	0.0333	1	0.5488	Lineal
Hembras	0.178	0.0562	1	1.107	Lineal

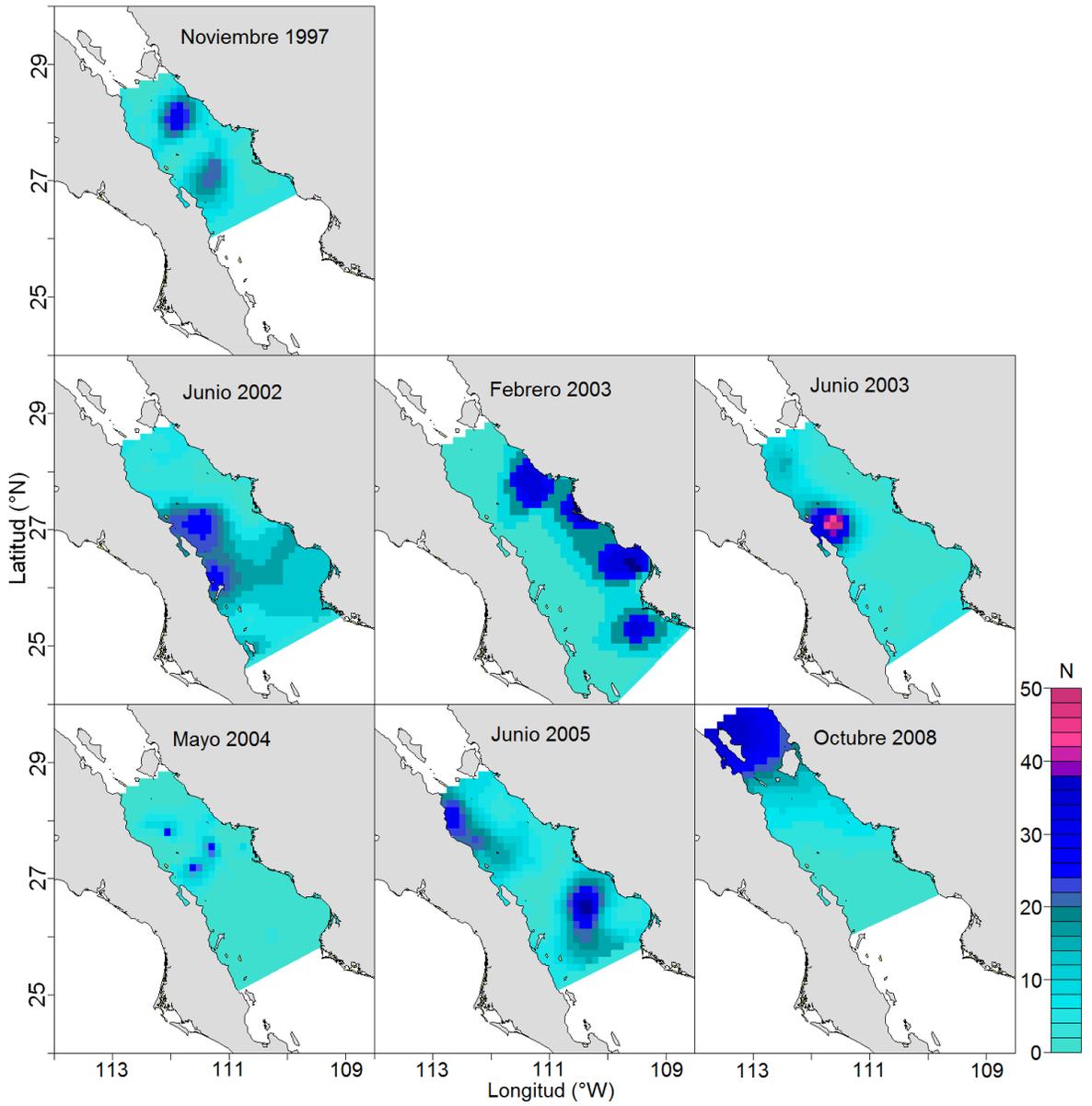


Figura 9.- Distribución espacial de machos de *Dosidicus gigas* en la región central del Golfo de California.

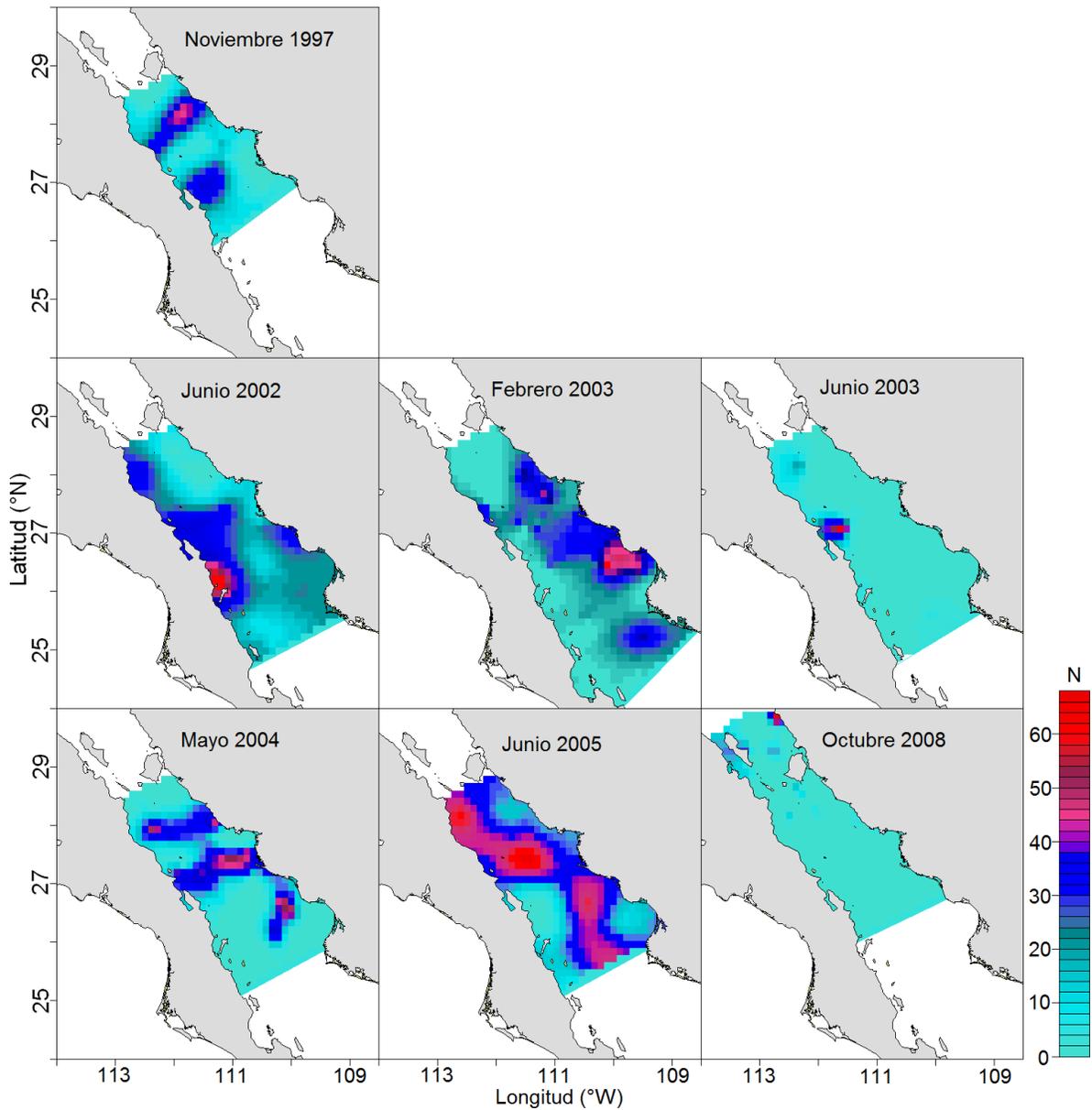


Figura 10.- Distribución espacial de hembras de *Dosidicus gigas* en la región central del Golfo de California.

6.5 Distribución espacial por fase de madurez

En todos los cruceros predominó la presencia de organismos inactivos (promedio de 68.60%, D.E. = 6.51%), sólo en el crucero efectuado durante febrero de 2003 se encontró el mayor porcentaje de organismos con actividad reproductiva (39.92%) el

porcentaje promedio de organismos activos en el resto de los cruceros fue de 29.27% con una desviación estándar de 4.81% (Fig. 11).

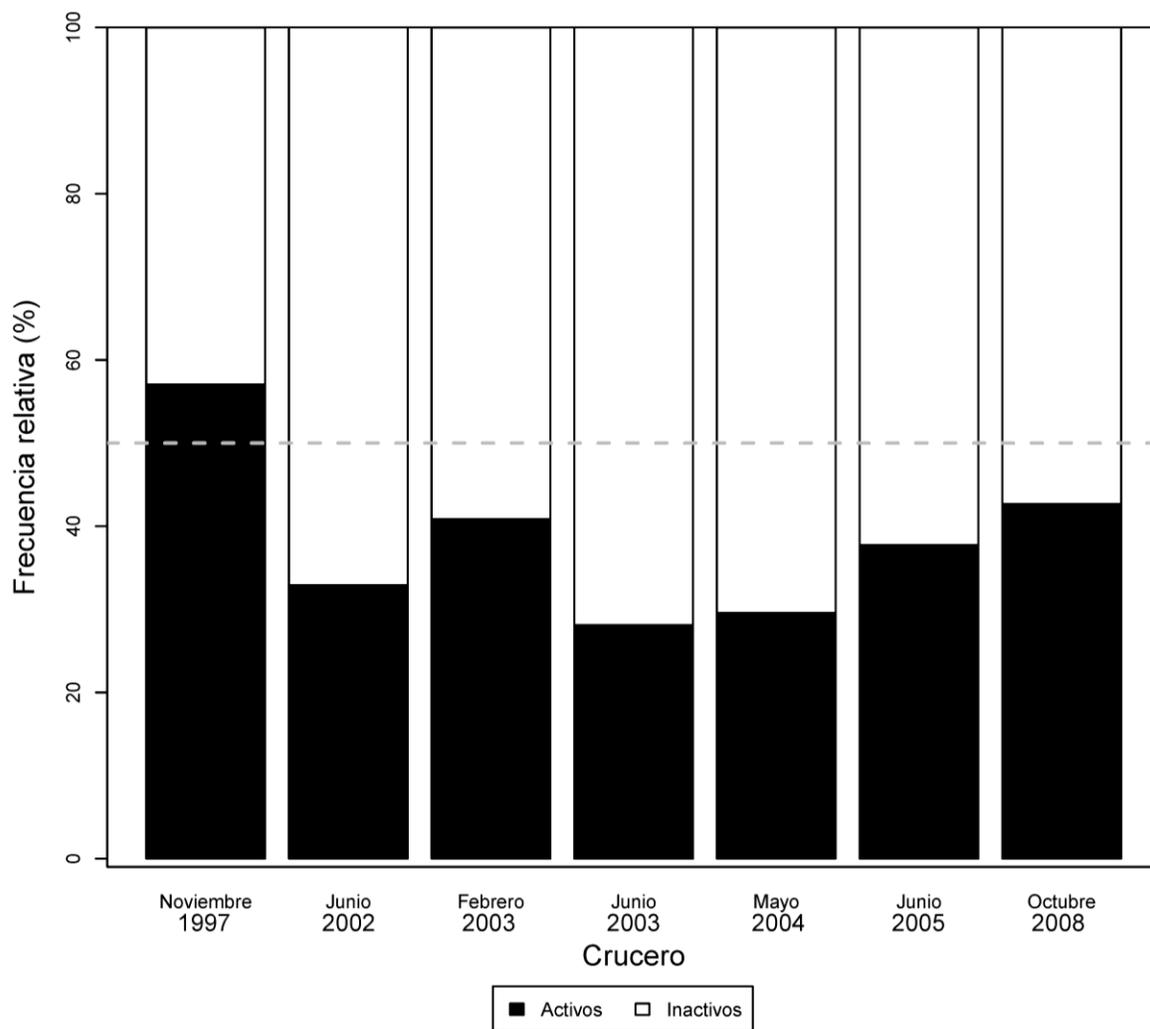


Figura 11.- Proporción de organismos inactivos y activos reproductivamente de *Dosidicus gigas* en la región central del Golfo de California. La línea gris indica una proporción de 1:1.

Los variogramas empíricos correspondientes a los organismos inactivos de los cruceros de febrero y junio de 2003 y los organismos inactivos y activos del crucero de octubre de 2008 presentaron un mejor ajuste con el modelo lineal, mientras que el resto se ajustó de mejor manera al modelo esférico. El rango encontrado en los ajustes fluctuó desde 0.38 grados para los organismos activos del crucero de mayo de 2004 hasta 2.06 grados para los individuos activos del crucero de febrero de 2003 (Tabla 6 y Anexos 4 y 5).

Tabla 6.- Parámetros estimados de variogramas empíricos de capturas por madurez de *Dosidicus gigas* expresadas en número de organismos. SC = Suma de Cuadrados. * Valores dados en log + 1.

Crucero	Nugget*	Sill*	Rango	SC*	Modelo
Nov-97					
Inactivos	0.1931	0.054	0.6591	0.3614	Esférico
Activos	0.2411	0.1038	0.6566	0.8787	Esférico
Jun-02					
Inactivos	0.1485	0.0053	0.4	2.637	Esférico
Activos	0.2119	0.1444	1	2.3136	Esférico
Feb-03					
Inactivos	0.0855	0.2599	1	2.3523	Lineal
Activos	0.0717	0.4015	2.0639	2.7215	Esférico
Jun-03					
Inactivos	0.2031	0.00488	1	4.8734	Lineal
Activos	0	0.3044	0.2384	5.6307	Esférico
May-04					
Inactivos	0.3122	0.1366	1.8154	4.0449	Esférico
Activos	0	0.3305	0.3865	1.0816	Esférico
Jun-05					
Inactivos	0.2494	0.1037	1.0754	0.9854	Esférico
Activos	0.1611	0.1349	0.6135	2.9342	Esférico
Oct-08					
Inactivos	0.1669	0.0583	1	1.2305	Lineal
Activos	0.1425	0.037	1	0.8261	Lineal

La distribución de organismos inactivos estuvo principalmente cargada hacia la costa oeste del Golfo de California, con núcleos de mayor concentración de organismos en las regiones centro y norte del golfo, solo en los cruceros de noviembre de 1997 y mayo de 2004 se encontraron líneas de concentración de calamares inactivos que abarcan ambas costas del golfo (Fig. 12).

Con respecto a la distribución de organismos con actividad reproductiva, estos fueron localizados principalmente en las regiones central y este del Golfo de California durante los cruceros de febrero de 2003, mayo de 2004, junio de 2005 y octubre de 2008, en el crucero de junio de 2002 los organismos activos se distribuyeron en pequeñas concentraciones en las región central y costa este del golfo. Durante el crucero de junio de 2003 toda la concentración de organismos

maduros fue en la costa oeste del Golfo de California principalmente frente a las costas de Mulegé en Baja California Sur. Sólo en el crucero de noviembre de 1997 se observaron concentraciones de organismos maduros en ambas costas del golfo (Fig. 13).

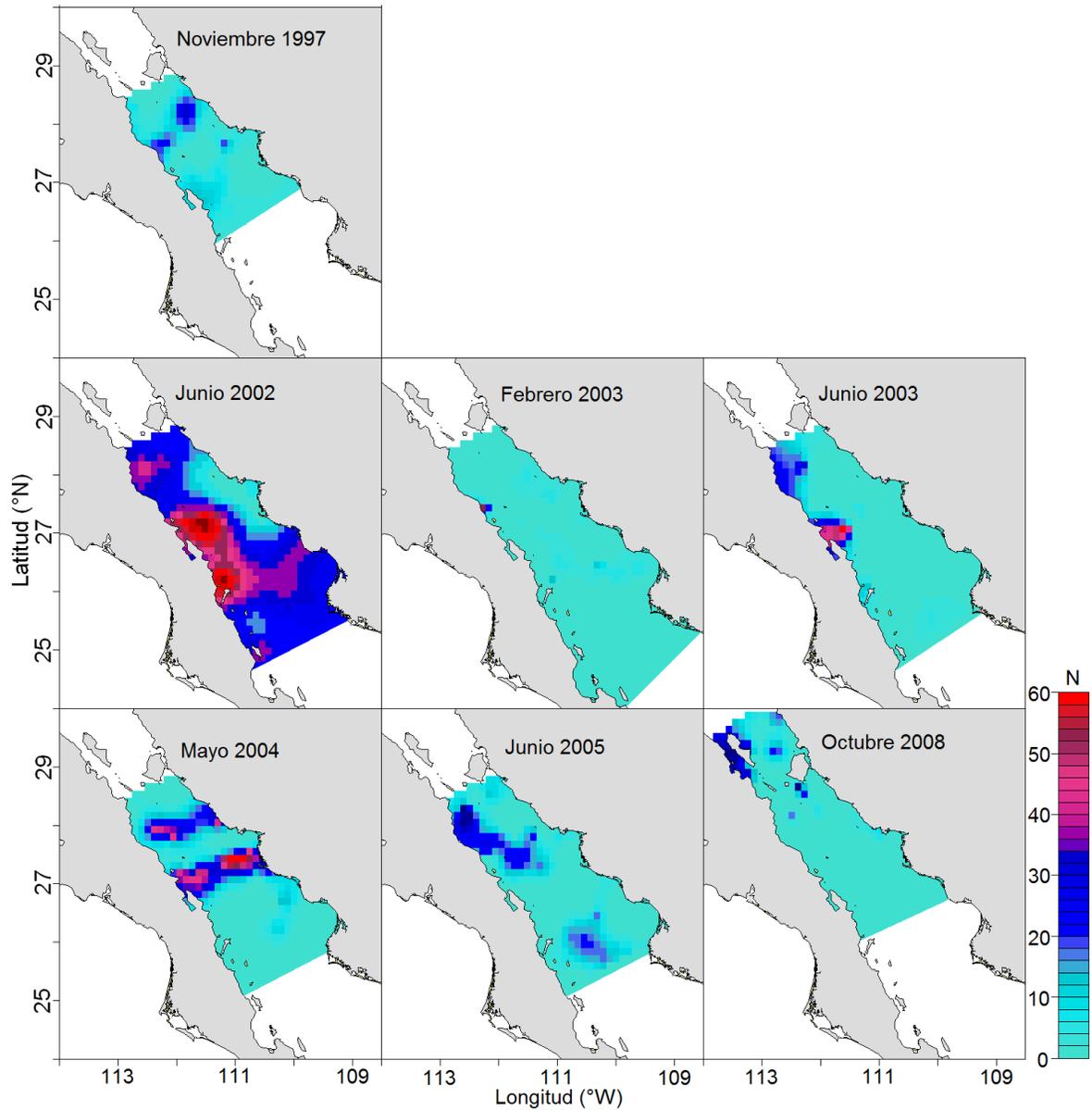


Figura 12.- Distribución espacial de organismos inactivos de *Dosidicus gigas* en la región central del Golfo de California.

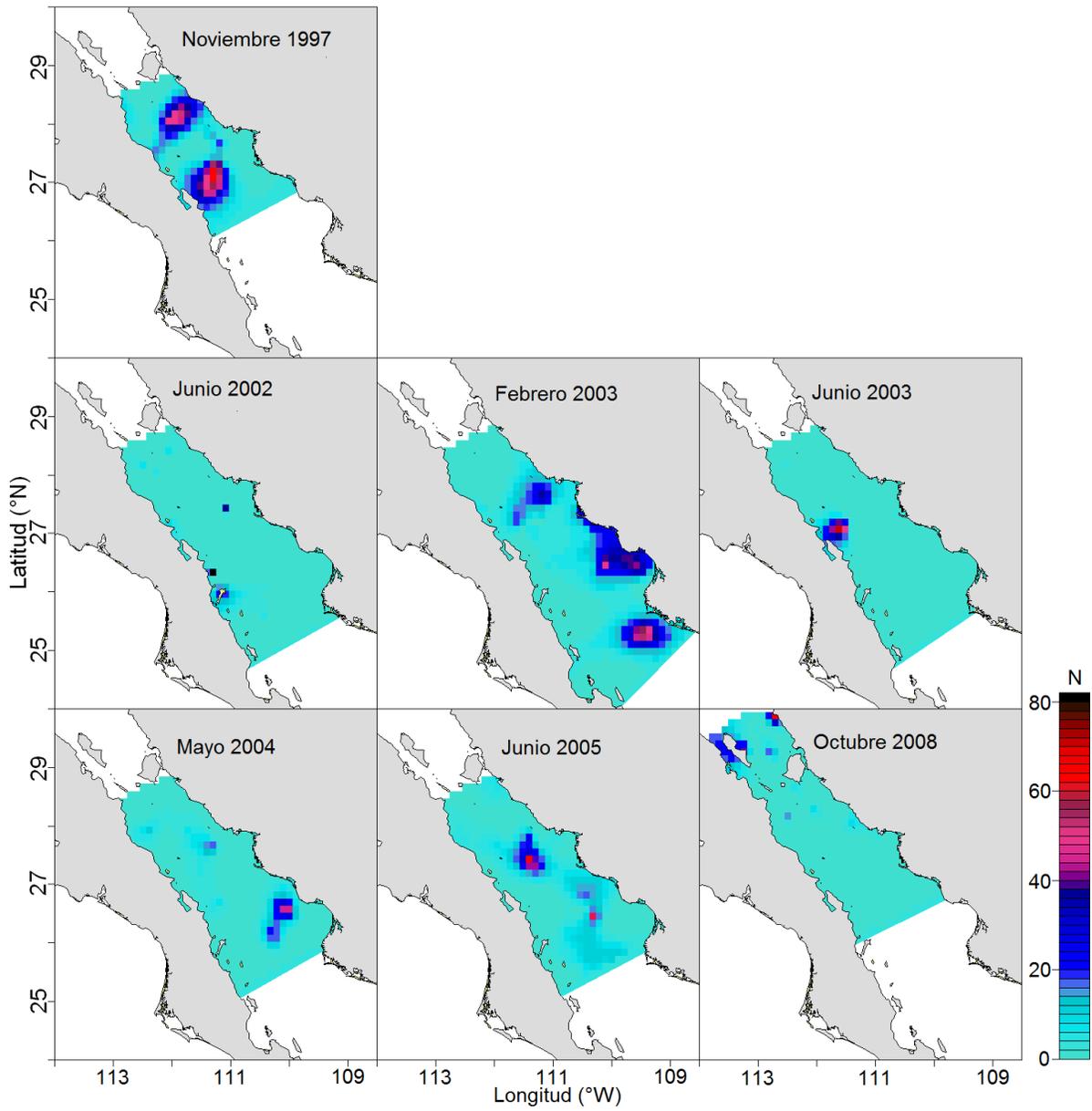


Figura 13.- Distribución espacial de organismos activos de *Dosidicus gigas* en la región central del Golfo de California.

6.6 Distribución espacial por talla

Los organismos con tallas menores a 30 cm de LM presentaron menor abundancia que los organismos mayores a esta talla. Para todos los cruceros el porcentaje de organismos mayores a 30 cm de LM fue superior al 60% (Fig. 14).

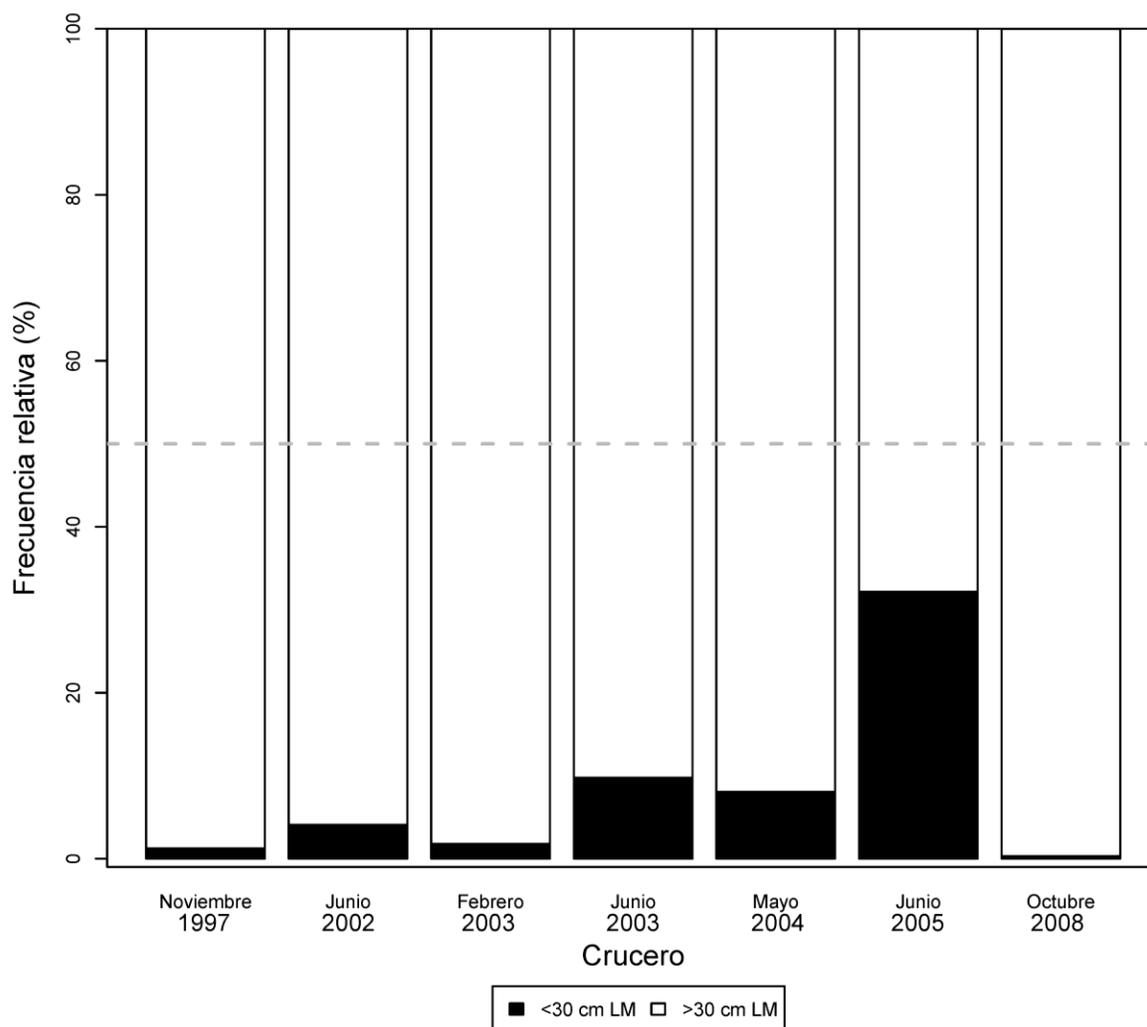


Figura 14.- Proporción de organismos por talla de *Dosidicus gigas* en la región central del Golfo de California. La línea gris punteada señala una proporción de 1:1.

Únicamente los variogramas empíricos correspondientes a los organismos menores a 30 cm de LM del crucero de junio de 2003 y mayores a 30 cm de LM del crucero de octubre de 2008 fueron ajustados a un modelo lineal mientras que el resto

se ajustó a un modelo esférico. La distancia máxima donde existe correlación entre las variables fluctuó desde 0.15 grados para los organismos mayores a 30 cm de LM del crucero de junio de 2002 hasta 2.02 grados correspondiente a los calamares mayores de 30 cm de LM obtenidos durante el crucero de junio de 2003 (Tabla 7 y Anexos 6 y 7).

La distribución de los calamares menores a 30 cm de LM se observó en la mayoría de los casos en la parte central del Golfo de California, es decir alejado de ambas costas, una zona muy recurrente para organismos de estas tallas fue la zona sur del golfo. Únicamente durante los cruceros de noviembre de 1997 y junio de 2003 fueron localizados organismos pequeños cercanos a la costa oeste del golfo específicamente en la región de Santa Rosalía en Baja California Sur (Fig. 15).

Tabla 7.- Parámetros estimados de los variogramas empíricos de las capturas por talla de *Dosidicus gigas* expresadas en número de organismos. SC = Suma de Cuadrados. * Valores dados en Log + 1.

Crucero	Nugget*	Sill*	Rango	SC*	Modelo
Nov-97					
<30 cm LM	0.0083	0.0036	0.9068	0.0026	Esférico
>30 cm LM	0.2818	0.1502	0.6579	1.6857	Esférico
Jun-02					
<30 cm LM	0.1694	0.0538	0.634	0.7615	Esférico
>30 cm LM	0.35	0.1146	0.1563	1.5138	Esférico
Feb-03					
<30 cm LM	0.0161	0.0196	0.3488	0.2066	Esférico
>30 cm LM	0.0521	0.5738	2.0271	21.4209	Esférico
Jun-03					
<30 cm LM	0.0411	0.031	1	0.9658	Lineal
> 30 cm LM	0	0.6417	0.1899	16.8125	Esférico
May-04					
<30 cm LM	0.02	0.026	0.3576	0.0457	Esférico
>30 cm LM	0.2061	0.2679	1.7722	2.1407	Esférico
Jun-05					
<30 cm LM	0	0.3113	0.7477	0.7884	Esférico
>30 cm LM	0.1648	0.284	0.9649	5.629	Esférico
Oct-08					
<30 cm LM	0	0.0019	0.5264	0.0009	Esférico
>30 cm LM	0.2398	0.0699	1	7.1981	Lineal

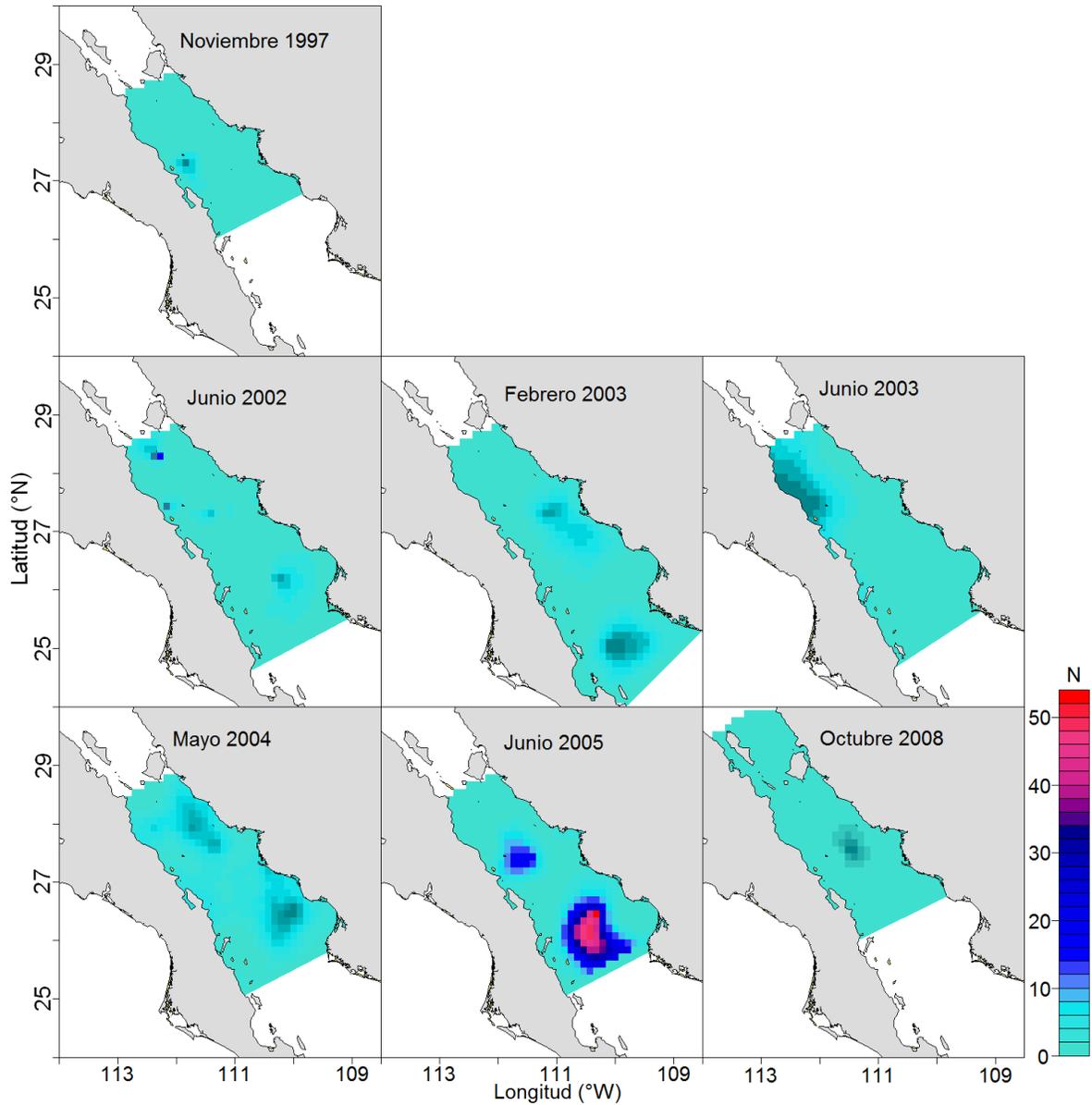


Figura 15.- Distribución espacial de organismos menores a 30 cm de longitud de manto de *Dosidicus gigas* en la región central del Golfo de California.

Los organismos mayores a 30 cm de Lm presentaron una distribución más amplia y en general pueden encontrarse en ambas costas y la parte central del Golfo de California (Fig. 16).

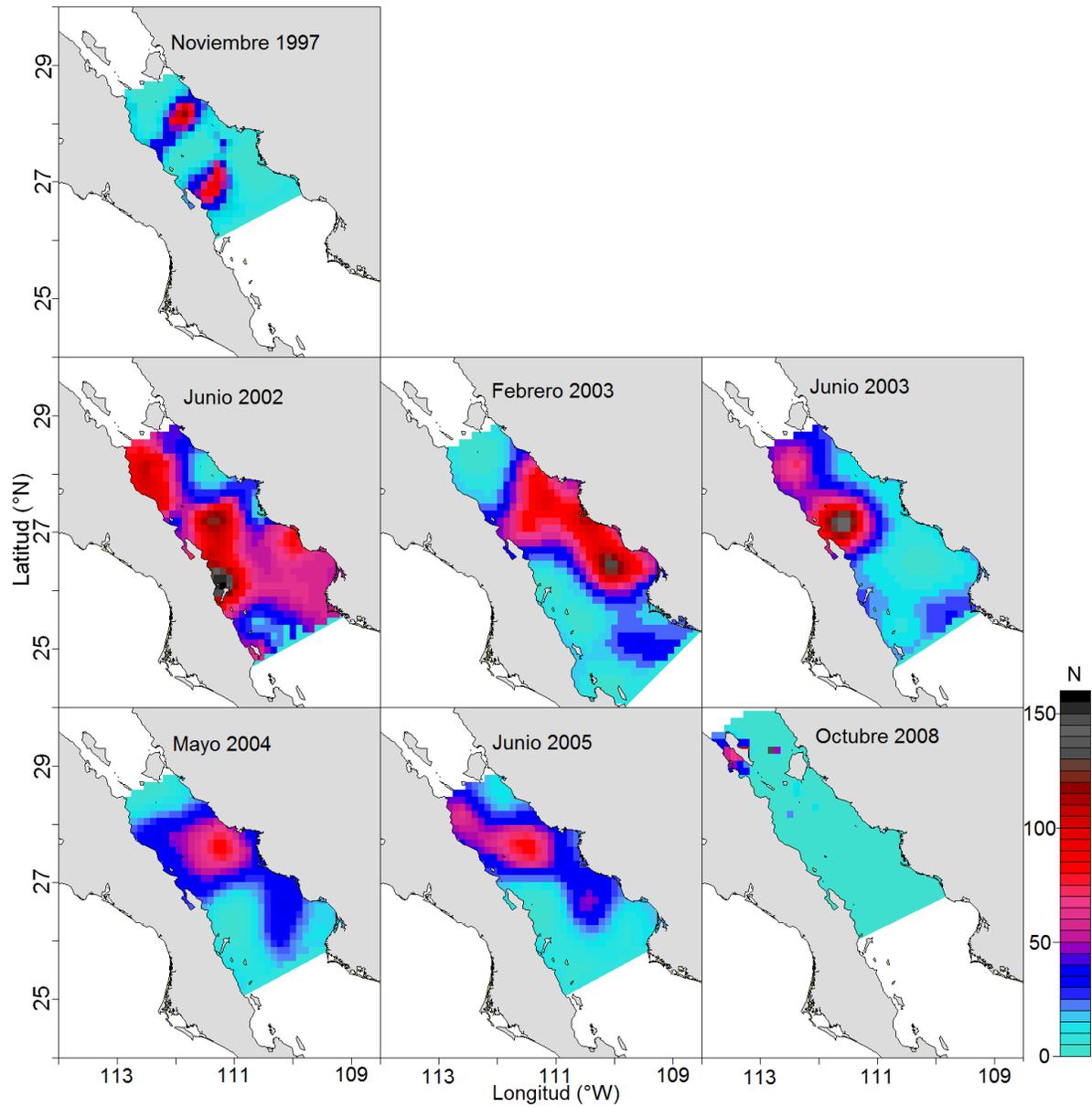


Figura 16.- Distribución espacial de organismos mayores a 30 cm de longitud de manto de *Dosicidus gigas* en la región central del Golfo de California.

6.7 Relación entre los eventos de surgencias y biomásas de calamar gigante

Para todos los años en los cuales se estimó el índice de surgencias costero (*CUI*) se encontró que los eventos de surgencias se llevan a cabo principalmente entre noviembre y marzo de cada año. Los eventos de mayor intensidad fueron registrados

durante 1998–1999, 2001–2002, 2003–2004 y 2004–2005 mientras que las de menor intensidad se registraron durante 1995–1996, 1997–1998, 2002–2003 (Fig. 17). Las disminuciones o incrementos en la intensidad de los eventos de surgencias coinciden con las biomases de calamar gigante estimadas para los cruceros de mayo–junio bajo la hipótesis de que los eventos de surgencias ocurridos durante el invierno afectan la biomasa de calamar gigante que se reclutará en mayo–junio, debido a los periodos de nacimiento obtenidos mediante las claves edad–longitud de manto que es posible se lleven a cabo durante el invierno de cada año. Sin embargo, lo anterior no fue posible soportarlo estadísticamente debido a un bajo número de casos.

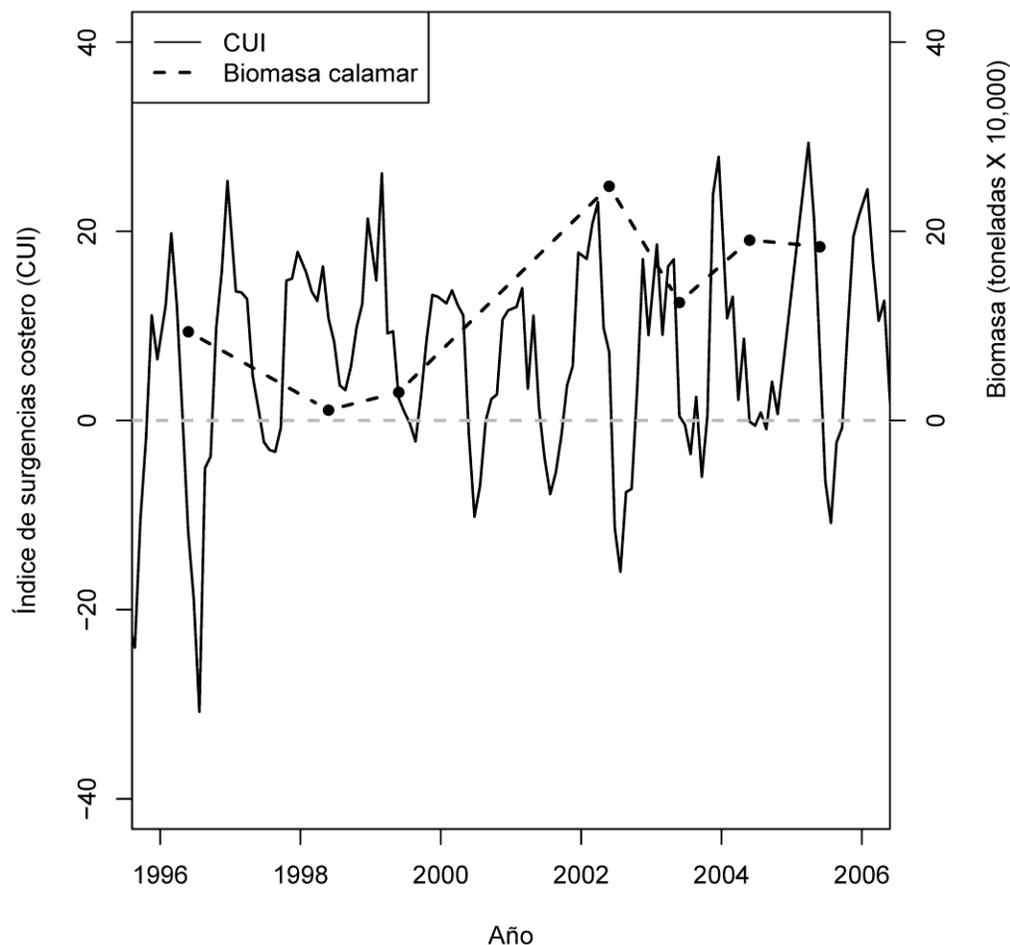


Figura 17.- Índice de surgencias costero (CUI) y biomases de calamar estimadas durante los cruceros de mayo – junio. Las biomases correspondientes a mayo de 1996 y mayo de 1999 fueron tomadas de Nevárez–Martínez *et al.* (2008).

6.8 Relación entre ambiente – distribución y abundancia de las capturas de calamar gigante

El 80% de las capturas de calamar para todos los cruceros estuvo en el rango de 19.3 a 27°C; durante el crucero de noviembre de 1997 fue cuando se obtuvieron las capturas a temperaturas mayores (24 a 27°C) mientras que el crucero de mayo de 2004 reportó las capturas de calamar a temperaturas más bajas (entre 15 y 18°C). Aunque el análisis de los percentiles sugiere que el 80% de las capturas se concentraron entre los 34.37 y 35.69 UPS de salinidad es importante señalar que las capturas de calamar se localizaron en un rango estrecho de salinidad que va aproximadamente entre las 35 a 36 UPS. Para el caso de la batimetría fue común localizar a los calamares en zonas menores a los 1300 m con escasas capturas en regiones que presentaron batimetrías de casi 2000 m y finalmente, el 80% de las capturas de calamar fueron obtenidas entre 700 y 2400 $\text{mgC/m}^2\text{d}^{-1}$ de productividad primaria neta excepto en los cruceros de mayo de 1998 y febrero de 2003 donde se registraron capturas donde se estimó productividad primaria neta mayor a 2500 $\text{mgC/m}^2\text{d}^{-1}$ (Fig. 18).

Los resultados obtenidos mediante los análisis de la distribución de las capturas de calamar gigante y variables ambientales a través de árboles de regresión indican que en la mayoría de los cruceros las variables ambientales que tuvieron mayor influencia fueron la productividad primaria (PPN) y temperatura superficial del mar (TSM) para noviembre de 1997 (Fig. 19a), batimetría (Bati) para noviembre de 1998 (Fig. 19b), salinidad (Sal) y productividad primaria en junio de 2002 (Fig. 19c), productividad primaria y batimetría para febrero de 2003 (Fig. 19d), temperatura y batimetría para junio de 2003 (Fig. 19e) y batimetría y productividad primaria neta en el crucero de mayo de 2004 (Fig. 19f).

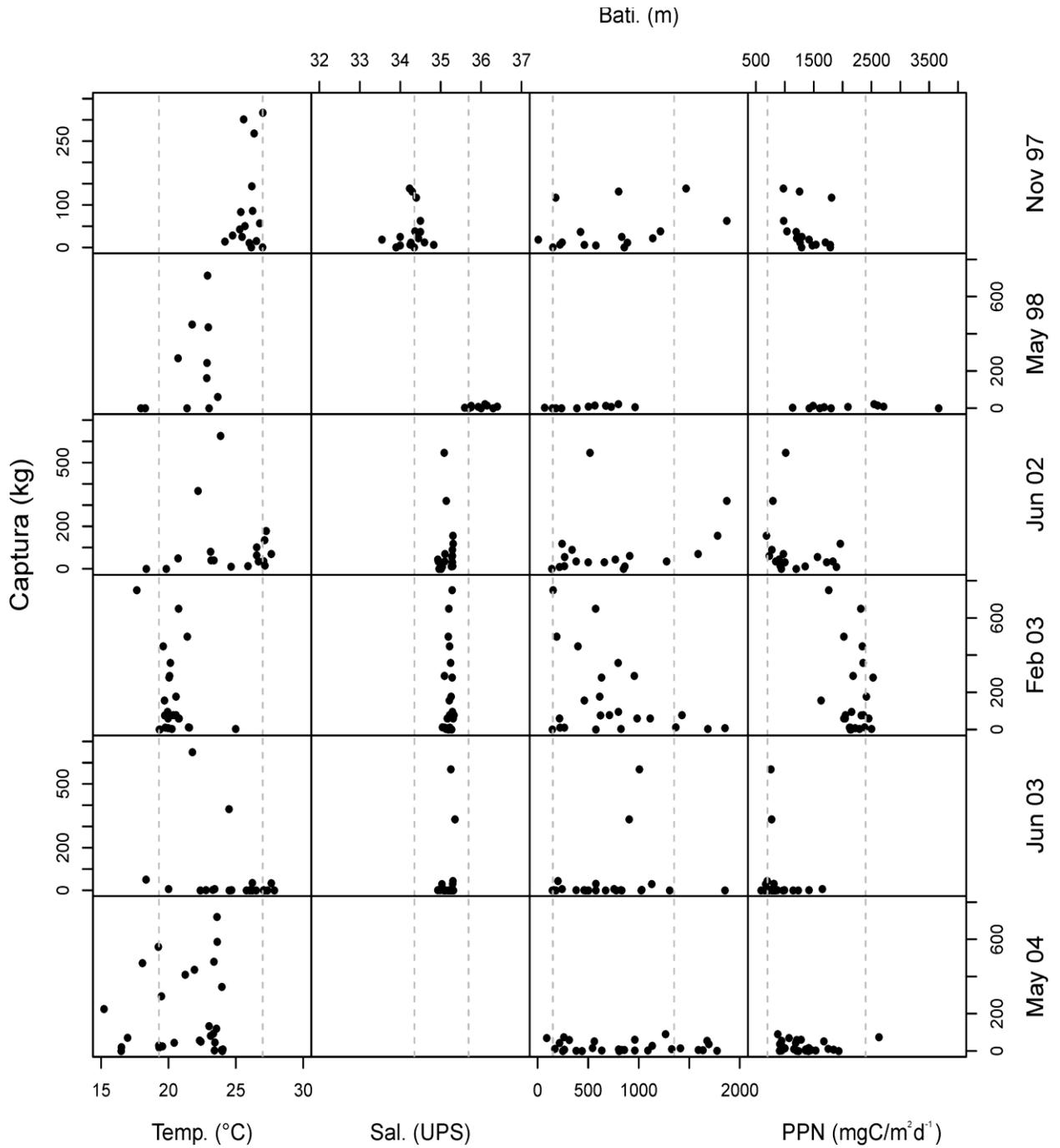


Figura 18.- Dispersión de las capturas de calamar gigante *Dosidicus gigas* respecto a las variables ambientales por cada crucero de investigación. Las líneas grises punteadas indican los percentiles del 10 y 90% del total de los datos para cada variable ambiental.

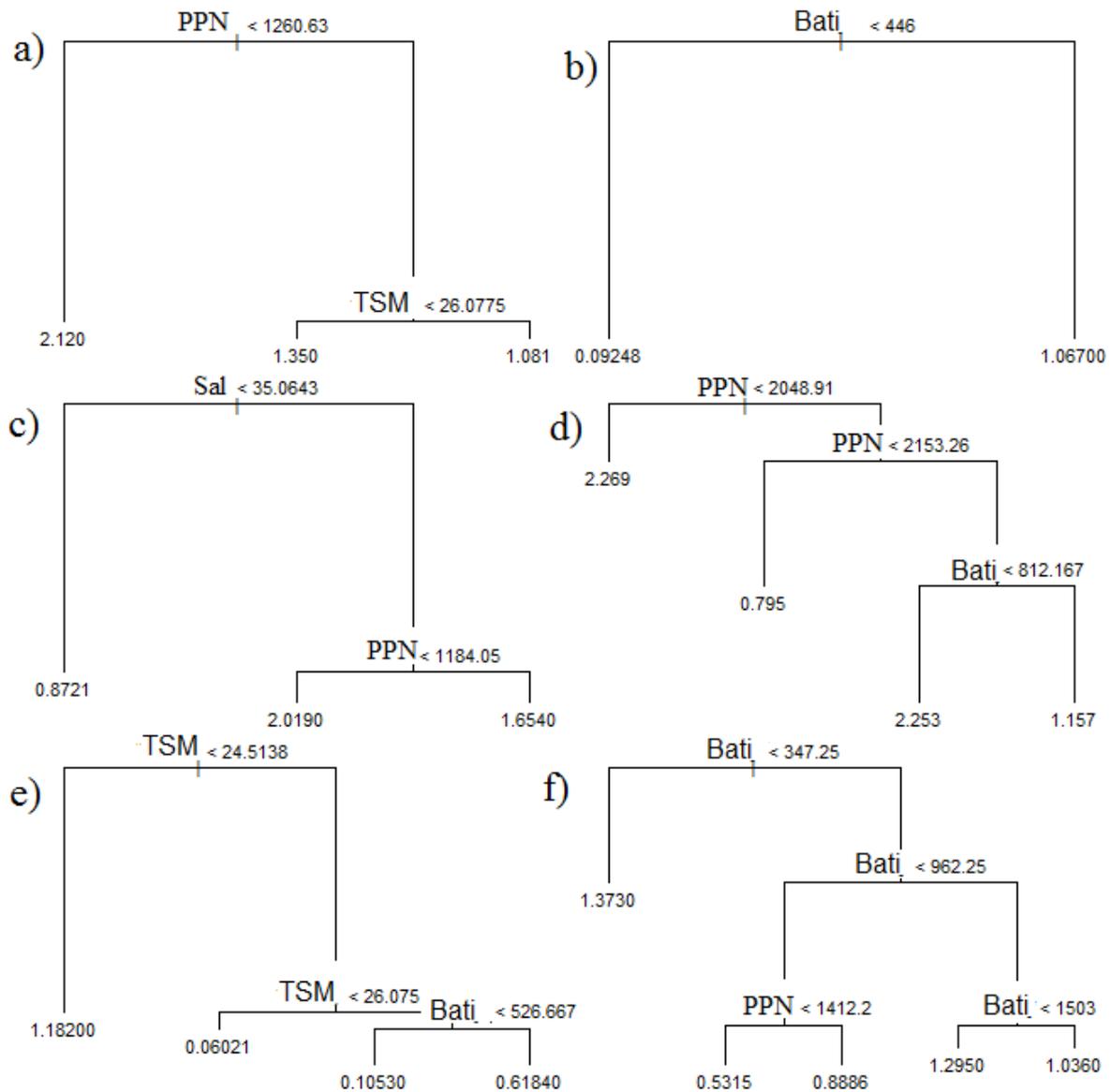


Figura 19.- Árboles de regresión por crucero de investigación: a) noviembre de 1997, b) mayo de 1998, c) junio de 2002, d) febrero de 2003, e) junio de 2003, f) mayo de 2004. Capturas dadas en $\log(\text{kg} + 1)$.

De acuerdo al análisis de medida de importancia de las variables ambientales para cada árbol, la batimetría y la productividad primaria neta fueron las de mayor relevancia en el análisis. La salinidad y la temperatura superficial del mar fueron las de mayor importancia en los cruceros de junio de 2002 y 2003 respectivamente (Tabla 8)

Tabla 8.- Medida de importancia de las variables ambientales para cada árbol de regresión.

Crucero	Variable ambiental (valor importancia)	
Noviembre de 1997	PPN (100)	Temperatura (10)
Mayo de 1998	Batimetría (100)	
Junio de 2002	Salinidad (100)	PPN (37)
Febrero de 2003	Batimetría (100)	PPN (37)
Junio de 2003	Temperatura (100)	Batimetría (78)
Mayo de 2004	PPN (100)	Batimetría (91)

Se evaluó la capacidad predictiva de cada uno de los modelos de árbol graficando los valores ajustados respecto a los valores observados a través de regresión lineal con ordenada al origen igual a 0 ($y = bx$), finalmente la pendiente resultante se contrastó con la pendiente teórica ($b = 1$) para ver si se consideró un buen modelo con una prueba t de *student* (Poole, 1974). Para todos los casos la pendiente calculada no fue significativamente diferente de la pendiente teórica ($b = 1$) ($p > 0.05$). Por lo tanto se consideraron los modelos como buenos predictivos de los datos observados (Figs. 20 y 21).

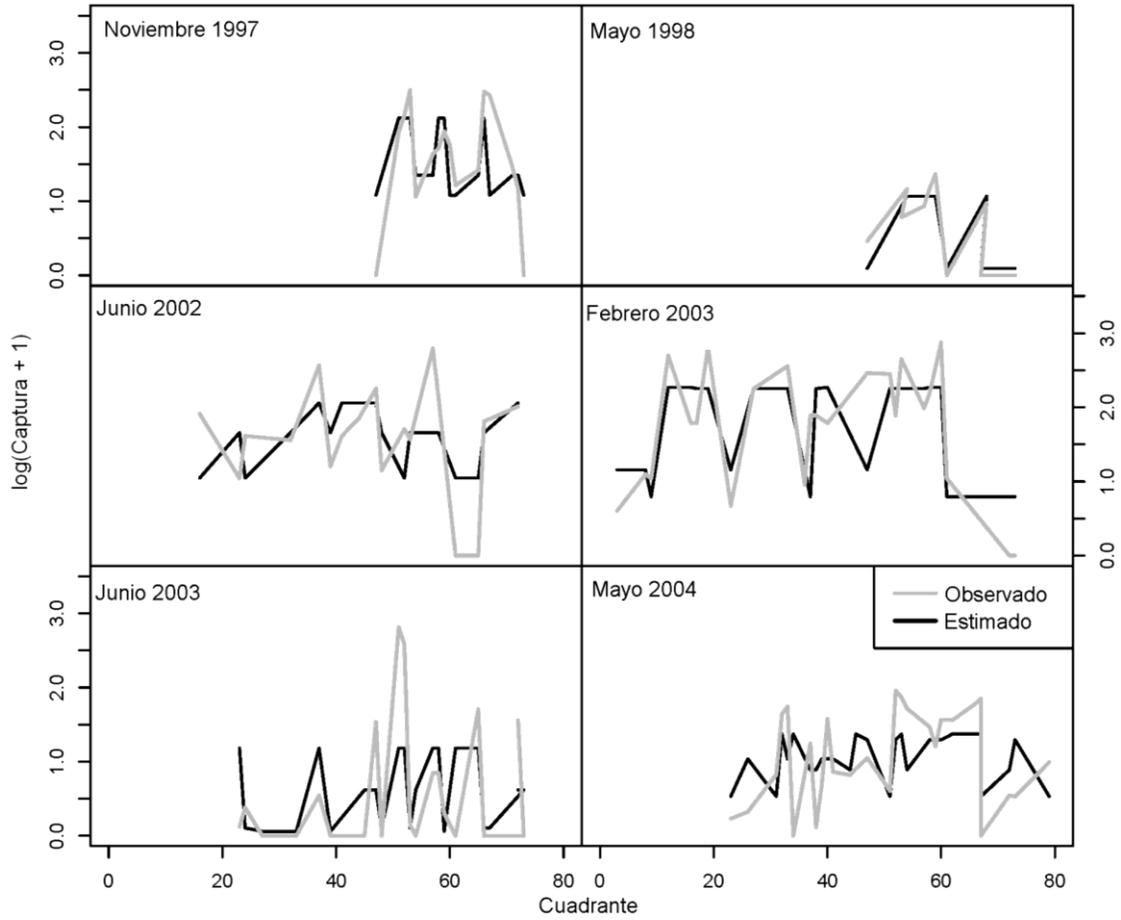


Figura 20.- Valores observados y calculados por los árboles de la capturas de calamar gigante de regresión para cada cuadrante dentro del Golfo de California.

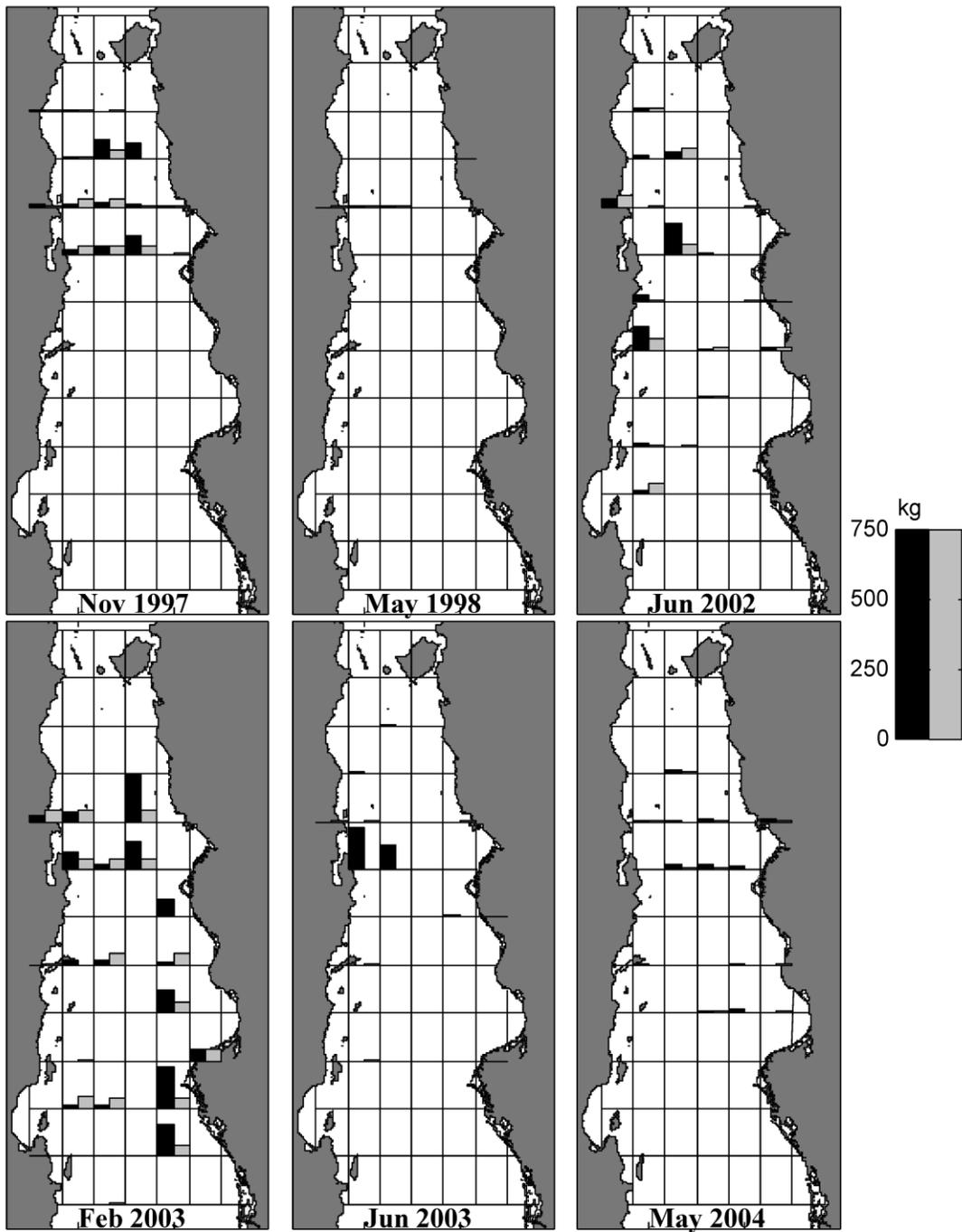


Figura 21.- Distribución espacial de las capturas observadas (barras negras) y calculadas (barras grises) por los árboles de regresión del calamar gigante *Dosidicus gigas* para cada crucero de investigación.

7. DISCUSIÓN

7.1 Biomosas de calamar gigante

La variación de las biomosas de calamar en los diferentes cruceros de investigación fue considerable. Durante los cruceros de noviembre de 1997 y mayo y noviembre de 1998 las biomosas estuvieron por debajo de las 20,000 t; estas biomosas bajas han sido atribuidas principalmente a efectos ambientales como eventos El Niño (Morales–Bojórquez *et al.*, 2001a). Sin embargo, se ha visto que la biomasa del calamar depende en gran medida del método utilizado; por ejemplo Klett (1996) estimó 11,000 t de calamar gigante para lo cual dividió el Golfo de California en ocho zonas diferentes. Ehrhardt *et al.* (1991) calculó hasta 180,000 t. Por su parte Morales–Bojórquez *et al.* (1997) mediante un modelo de reducción de stock estimó cerca de 94,600 y 80,100 t (técnica de máxima verosimilitud) utilizando para ello información de las zonas de pesca de calamar. La estimación de biomasa de calamar gigante dentro del Golfo de California adquiere importancia debido a la estrategia de manejo propuesta para esta especie basada principalmente en una sola cohorte (Hernández–Herrera *et al.*, 1998) aunque también se ha propuesto el esquema de un escape proporcional aproximado al 40% de la biomasa total reproductiva (Rosenberg *et al.*, 1990).

La técnica de muestreo aleatorio estratificado tuvo tendencia a sobreestimar la biomasa de calamar calculada por el método de área barrida sobre todo cuando la distribución de las capturas fue reducida (por ejemplo en junio de 2003). El método de muestreo aleatorio estratificado es eficiente cuando la distribución de las capturas es homogénea en la zona de estudio aunque en la mayoría de los casos tiende a calcular biomosas por encima de la técnica de área barrida. Por lo tanto, bajo un manejo con enfoque precautorio se considera más adecuado el uso del método de área barrida para la toma de decisiones en la regulación de la pesquería (Nevárez–Martínez *et al.*, 2000) y que dichas estimaciones se hagan preferentemente durante

los meses de mayo–junio cuando se recluta la cohorte que sostiene la pesquería (Hernández–Herrera *et al.*, 1998).

7.2 Distribución de tallas y condición reproductiva del calamar gigante

En el presente estudio se observaron hasta tres grupos modales en un mismo crucero los cuales se interpretan como diferentes cohortes. La obtención de información independiente a la pesca comercial permitió abarcar una mayor área de muestreo y rango de tallas del calamar a las reportadas por Díaz–Uribe *et al.* (2006) y Bazzino *et al.* (2007). Hernández–Herrera *et al.* (1996) evaluaron la distribución de frecuencias de longitudes del calamar gigante usando para ello un crucero de investigación llevado a cabo durante mayo de 1996 y reportaron un rango de tallas que va desde 20 hasta 88 cm de LM similar al encontrado en el presente estudio.

El número de cohortes existentes dentro del Golfo de California es incierto; sin embargo, la hipótesis de múltiples cohortes en la población ha sido sustentada por diferentes metodologías; Ehrhardt *et al.* (1983) sugirieron la posible existencia de hasta cinco cohortes intranuales basados en la distribución de tallas, metodología similar a la utilizada en este trabajo, aunque en este caso solo se observaron un máximo de tres grupos modales (cohortes) en dos de los cruceros (noviembre de 1997 y junio de 2002). La presencia de hasta tres cohortes en el Golfo de California ya fue registrada por Morales–Bojórquez *et al.* (2001b) quienes las estimaron a través de modelos determinísticos para calcular la capturabilidad. La posible explicación a la consistente presencia de múltiples cohortes dentro del golfo puede deberse a la maduración asincrónica en el desarrollo de los ovocitos (Díaz–Uribe *et al.*, 2006), mientras que Markaida *et al.* (2004) y Filauri–Valencia (2005) determinaron diferentes fechas de nacimiento del calamar gigante a partir de conteo de marcas de crecimiento en estatolitos.

Hernández–Herrera *et al.* (1998) reportaron un importante reclutamiento a la pesquería de organismos menores a 40 cm de LM durante mayo; en el presente trabajo, los cruceros realizados durante los meses de mayo–junio presentaron de

manera consistente una cohorte con tallas promedio desde 35.29 a 37.37 cm de LM que de acuerdo a lo reportado anteriormente, se podría asumir que son organismos recién reclutados a la pesquería. En algunos años (junio de 2002, junio de 2003 y junio de 2005) esta cohorte estuvo acompañada de una o dos cohortes más de mayor talla. El consistente reclutamiento de esta cohorte en los meses de mayo–junio en diferentes años permite suponer que aun cuando puede haber desoves o nacimientos a lo largo del año, este reclutamiento puede ser el más importante para la población del Golfo de California y pudiera tener una relación directa con la producción de la temporada de pesca en la zona.

De acuerdo con las claves de edad–LM realizadas por Markaida *et al.* (2004) y Filauri–Valencia (2005) se calculó que la primera cohorte estimada (29.49 a 37.37 cm de LM) podrían tener una edad aproximada de entre 5 y 7 meses, la segunda cohorte (54.45 a 63.01 cm de LM) correspondería a organismos de entre 9 y 10 meses de edad y finalmente el tercer grupo modal encontrado (70.69 a 78.61 cm de LM) podría tratarse de organismos de entre 12 y 13 meses de edad. Por lo tanto, tentativamente existirían dos periodos amplios de eclosión de paralarvas y posiblemente el primero ocurra desde abril hasta agosto y el segundo de octubre a febrero.

Sobre las épocas reproductivas, Filauri–Valencia (2005) detectó dos posibles periodos de eclosión que fueron aproximadamente de octubre a marzo y desde abril hasta agosto, que concuerdan con los observados en el presente trabajo y coinciden con los mayores porcentajes de organismos con actividad reproductiva (fases IV a VI) que se encontraron durante los cruceros de noviembre de 1997 (57%), febrero de 2003 (40%) y octubre de 2008 (40%), lo cual sugiere que ambos periodos de desove son importantes para el aporte de biomasa a la población de calamar gigante en el Golfo de California. Los resultados del presente estudio coinciden en gran medida con lo encontrado por Ehrhardt *et al.* (1983) quienes observaron porcentajes altos de calamares maduros en el Golfo de California durante los meses de diciembre y enero indicando que posiblemente los desoves se lleven a cabo a principios del invierno, en tanto que Hernández–Herrera *et al.* (1996) observó que *D. gigas* podría tener su principal pico de reproducción entre los meses de enero a mayo. Al respecto,

Bazzino *et al.* (2007) encontraron que en organismos capturados en Santa Rosalía, B.C.S., la proporción de hembras maduras se incrementa cuando se aproxima el mes de octubre; sin embargo también señalan que es muy probable que el desove se lleve a cabo en otras regiones del Golfo de California, ya que es posible que esta zona sea aprovechada principalmente para alimentación y no reproducción debido a que comúnmente existe dominancia de los machos sobre las hembras. Los anteriores autores no detectaron los dos periodos de nacimiento encontrados en el presente estudio debido a que sus muestreos estuvieron limitados a las zonas de captura comercial del calamar gigante (Santa Rosalía, B. C. S. y Guaymas, Son.).

En el presente estudio, los machos maduraron a tallas más pequeñas que las hembras. Aunque no se encontraron diferencias significativas en la talla de primera madurez poblacional por sexos, solo en los cruceros de junio de 2003, mayo de 2004 y junio de 2005 dichas tallas fueron similares mientras que en el resto de los cruceros fue muy notable que las hembras maduran a tallas mayores que los machos, estas diferencias en la madurez por sexos en calamares ommastrephidos ya ha sido demostrada en diferentes trabajos (Markaida *et al.*, 2004) y esta estrategia reproductiva tan marcada puede deberse a que los machos maduren a tallas menores para lograr copular con la mayor cantidad de hembras posibles mientras que las hembras acumulan energía para prepararse para la producción y puesta de huevos (Nesis, 1983; Nigmatullin *et al.*, 2001, Markaida & Sosa–Nishizaki, 2001; Mejía-Rebollo *et al.*, 2008). Por otra parte, la hipótesis de la posible existencia de diferentes grupos intraespecíficos y que estos presenten diferentes tallas de madurez, aunque ya fue sustentada por Nesis (1983), Argüelles *et al.* (2001) y Nigmatullin *et al.* (2001) en el presente estudio no fue posible observar dichos grupos, asimismo, autores como Nevárez–Martínez y Morales–Bojórquez (1997), Nevárez–Martínez *et al.* (2000) en el Golfo de California y Mejía–Rebollo *et al.* (2008) en la costa occidental de Baja California tampoco encontraron evidencia para apoyar dicha hipótesis.

7.3 Distribución espacial del calamar gigante

La distribución de las capturas de *D. gigas* varió entre cruceros; durante junio de 2002, 2003 y 2005 las mayores concentraciones fueron observadas principalmente entre los 26° y hasta los 28° N, desde el centro hacia la costa oeste del Golfo de California. En el crucero de febrero de 2003 su distribución principal se encontró cercana a la costa este del mismo, en especial entre los 25° y 28°N. Estos cambios en la distribución durante los diferentes meses del año explican el comportamiento de la pesquería en ambas costas, desde noviembre a mayo la pesquería se desarrolla principalmente en la costa de Guaymas, Sonora, mientras que de mayo a noviembre se lleva a cabo frente a Santa Rosalía, B. C. S. (Hernández–Herrera *et al.*, 1998; Markaida *et al.*, 2005). Mediante estudios de marcado y recaptura se ha observado que *D. gigas* presenta movimientos desde Santa Rosalía, B. C. S., hacia Guaymas, Sonora, durante noviembre y uno inverso durante mayo (Gilly *et al.*, 2006). Coincidentemente, Nevárez–Martínez *et al.* (2000) observaron abundancia de calamares en mayo de 1996 que van desde una costa a la otra entre los 27°N hasta los 28.3°N. De la misma manera en el presente trabajo durante el crucero de mayo de 2004 se encontraron organismos entre los 27° a 28°N lo cual confirma lo encontrado por Gilly *et al.* (2006) respecto a que durante mayo *D. gigas* presenta un movimiento desde la costa este a la costa oeste del Golfo de California.

La distribución reducida de *D. gigas* durante mayo y noviembre de 1998 y junio de 2003 pudo corresponder a los efectos producidos por eventos El Niño durante estos periodos (Lluch–Cota *et al.*, 1999; Nevárez–Martínez *et al.*, 2002; McPhaden, 2004; Bazzino *et al.*, 2007). En las costas de Perú también se han notado cambios importantes en la distribución y abundancia del calamar gigante debidos a fenómenos como los eventos de El Niño y La Niña (Taipé *et al.*, 2001) y lo anterior ha sido atribuido principalmente a los cambios en la distribución y abundancia de las especies presa de los calamares durante estos periodos.

La proporción de sexos fue favorable a las hembras en todos los cruceros excepto el de junio de 2002 en el que fueron más abundantes los machos (2.55M:1H). Proporciones favorables a las hembras de *D. gigas* en el Golfo de California ya han sido reportadas por Hernández–Herrera *et al.* (1996), Markaida y Sosa–Nishizaki (2001), Markaida y Sosa–Nishizaki (2003), Markaida (2006) y Bazzino *et al.* (2007). La menor cantidad de machos dentro del golfo permite suponer que un macho puede aparearse con varias hembras (Hernández–Herrera *et al.*, 1996), o bien que hay una posible segregación por sexos en la zona de estudio. Por otra parte, la distribución de machos y hembras fue similar en todos los cruceros aunque las hembras se mostraron visualmente ligeramente más dispersas en el golfo de que los machos. Aspectos sobre la distribución del calamar gigante por sexos no ha sido reportado anteriormente.

Los calamares que no presentaron actividad reproductiva se distribuyeron en la costa de Baja California, lo cual soporta la hipótesis de que la costa occidental del Golfo de California no es utilizada para reproducción de *D. gigas* tal y como fue reportado por Markaida y Sosa–Nishisaki (2001) y Markaida *et al.* (2004). Sin embargo, en los cruceros de junio de 2002 y 2003 se localizaron concentraciones de organismos activos en esta costa, lo que sugiere que se podrían estar llevando a cabo desoves parciales sin que esto signifique que dichos desoves determinen que esta región del golfo sea la más importante para el evento reproductivo de *D. gigas*.

Los resultados reportados por Hernández–Herrera *et al.* (1998) son consistentes con los encontrados en el presente estudio ya que durante el crucero de febrero de 2003 el total de los organismos activos fueron observados cercanos a la costa este del golfo. En todos los casos los calamares activos estuvieron a latitudes inferiores a los 28° N. Al respecto Gilly *et al.* (2006) reportaron abundancia de paralarvas de *D. gigas* en la cuenca San Pedro Mártir, Golfo de California, ubicada aproximadamente a los 28.3° N lo cual les hizo sugerir una probable zona de desove alrededor de la cuenca y posiblemente este se lleve a cabo durante épocas del año fuera del alcance del periodo de muestreos del presente estudio debido a que se ha

reportado que durante abril el calamar alcanza su posición más al norte aproximadamente a los 29° N (Morales–Bojórquez *et al.*, 2001b).

Los organismos menores a 30 cm de LM fueron menos abundantes en las capturas obtenidas de todos los cruceros, debido a que los calamares iguales o más pequeños a esta talla son menos vulnerables al arte de pesca. En la mayoría de los cruceros los calamares menores a 30 cm de LM se distribuyeron en la parte sur del Golfo de California, alejados de ambas costas específicamente concentrados en las cuencas el Farallón (aproximadamente 25.1° N, 109.9° W) y Carmen (aproximadamente 26.3° N, 110.5° W). De la misma manera, en todos los cruceros excepto el de junio de 2003 se encontraron concentraciones de organismos menores a 30 cm de LM alrededor de la cuenca de Guaymas (aproximadamente 27° N, 112° W); solo en los cruceros de junio de 2003 y 2005 se observaron calamares chicos cercanos a la costa de Baja California frente a Santa Rosalía. Por lo tanto en el presente trabajo se localizaron dos zonas importantes de concentración de calamares menores a 30 cm de LM: la primera alrededor de la cuenca de Guaymas extendiéndose hacia las costas de Santa Rosalía y la segunda alrededor de las cuencas Farallón y Carmen alejados de ambas costas al sur del Golfo de California.

Según Ehrhardt *et al.* (1983), durante invierno y primavera existe una concentración importante de organismos entre 20 y 40 cm de LM alrededor de la cuenca de Guaymas; dichas abundancias se extienden hasta las costas de Santa Rosalía y durante los meses de verano y otoño las mayores abundancias de organismos pequeños se encuentran principalmente en la cuenca de Guaymas alejados de ambas costas del Golfo de California y una concentración importante en la parte central de la boca del golfo. Por otra parte Morales–Bojórquez *et al.* (2001b) mencionan que durante los meses de mayo a agosto el stock se encuentra ubicado en la parte más norteña de la región central del Golfo de California y presenta distribución segregada por sexos. Durante este tiempo los adultos se encuentran en una banda de 10 millas a lo largo de la costa y los subadultos se localizan más allá de las 10 millas entre los 26 y 28°N, sin embargo, a diferencia de lo mencionado por los anteriores autores, en el presente estudio las mayores concentraciones de

organismos menores a 30 cm de LM estuvieron ubicadas entre los 25.5 y 27°N y entre los 110 y 110.5°W al sur del Golfo de California alejados de ambas costas en las zonas de mayor profundidad (cuenca Farallón) y en la cuenca de Guaymas (entre 27 y 28°N y 111 y 111.5°W) con concentraciones esporádicas frente a Santa Rosalía, B. C. S. (junio 2003). La preferencia a zonas profundas de los calamares de tallas menores a 30 cm posiblemente sea una estrategia utilizada por los juveniles para protección contra depredación por otras especies y por organismos de mayor talla de su misma especie.

Respecto a los organismos mayores a 30 cm de LM, estos tuvieron mayor afinidad a las regiones cercanas a las zonas costeras tanto del lado este como del oeste del Golfo de California y aproximadamente de los 26°N hacia la parte norte (aproximadamente hasta los 29°N), semejante a lo reportado por Morales–Bojórquez *et al.* (2001b). Sin embargo, también se localizaron en la parte central del golfo, lejos de ambas costas como sucedió en los cruceros de junio de 2002 y 2005, febrero de 2003 y mayo de 2004 respondiendo posiblemente a los movimientos de sus principales presas (Markaida, 2006).

7.4 Relación de la biomasa del calamar gigante y los eventos de surgencias

De acuerdo a los resultados obtenidos mediante el análisis de los grupos modales y la distribución espacial de los organismos con actividad reproductiva, se parte de la idea de que la intensidad de los eventos de surgencias ocurridos durante el invierno de cada año en la costa oeste del Golfo de California (que coincide con la distribución de organismos activos reproductivamente y las fechas de eclosión) posiblemente afectan a la biomasa de la cohorte de calamar que se recluta durante mayo–junio, tal vez porque durante los desoves exista una ventana óptima para el calamar gigante relacionada a procesos de enriquecimiento, concentración y retención, tal y como fue sugerido para la sardina en la misma zona de estudio (Lluch–Cota *et al.*, 1999). Al respecto, Ehrhardt (1991) mencionó que la distribución y biomasa del calamar gigante parece estar asociada con los eventos de surgencias y

con posiblemente una relación estrecha a pequeñas especies de pelágicos menores que habitan estas zonas debido a que forman parte importante de la dieta del calamar (Markaida, 2006), reforzando lo anteriormente propuesto por Rivera-Parra (2001) que encontró una importante relación entre las abundancias de calamar gigante y de sardina en el Golfo de California, y también por Nevárez-Martínez *et al.* (2000) que suponen que estos descensos en la biomasa de calamar responden posiblemente a las disminuciones en las abundancias de las principales presas del calamar más que a una afectación fisiológica de la propia especie causadas por cambios ambientales en la temperatura, salinidad, entre otras variables físico químicas.

Autores como Jackson (1990), O'Dor (1992), O'Dor y Coelho (1993) y Taipé *et al.* (2001) establecieron que las áreas de surgencias asociadas a corrientes importantes favorecen el sustento de grandes poblaciones de calamar. Por otra parte, Nesis (1983) relacionó la presencia de calamar gigante de tallas mayores con áreas donde se llevan a cabo eventos de surgencias con abundante alimento y cuyas bajas temperaturas demoran el desarrollo sexual. Waluda y Rodhouse (2006) encontraron que es probable que en las costas de Perú los eventos de surgencias favorezcan las abundancias altas de calamar gigante durante condiciones de surgencias intermedias (por ejemplo en 1994), en tanto que, las abundancias bajas de calamar pueden deberse a condiciones bajas de surgencias, aunque también condiciones de intensas surgencias podrían de la misma manera desfavorecer la abundancia de calamar debido al alto transporte de organismos a zonas alejadas de las costas donde sus probabilidades de supervivencias son menores (Anderson & Rodhouse, 2001); algo similar fue observado en el presente trabajo; durante 2004 y 2005 ya a pesar de que se registraron surgencias intensas y las biomásas de calamar fueron menores a 200,000 toneladas.

Uno de los fenómenos que tiene gran influencia en la abundancia de calamar es El Niño, ya que se ha observado que los periodos de abundancias altas son precedidos por colapsos con capturas bajas en la pesquería. Por ejemplo para los años 1980–1982 con capturas altas seguidos por el periodo 1982–1983 con

descensos importantes en la abundancia (Klett, 1996); para los años 1996–1997 las capturas de calamar se incrementaron por encima de las 140,000 t con un descenso importante en la producción en el periodo 1997–1998 (Klett, 1996; Lluch–Cota *et al.*, 1999; Nevárez–Martínez *et al.*, 1999; Morales–Bojórquez *et al.*, 2001a). Sin embargo en el presente estudio no siempre se cumplió esta predicción ya que se observó que durante el evento El Niño 2002–2003 no se vieron afectadas en gran medida las biomásas estimadas para el 2002 y 2003. La poca afectación pudo deberse a que fue considerado como un evento El Niño de baja intensidad (McPhaden, 2004). Aparentemente, el periodo de recuperación de la biomasa de calamar gigante después del evento de El Niño de 1997–1998 fue aproximadamente de cinco años ya que fue hasta el 2002 cuando se estimaron nuevamente biomásas elevadas en el Golfo de California.

7.5 Relación entre la distribución del calamar gigante y las variables ambientales

Las variables ambientales que lograron explicar la distribución y abundancia del calamar gigante fueron en orden de importancia: la, batimetría productividad primaria y temperatura superficial del mar. De acuerdo a los gráficos de dispersión, ninguna de las variables ambientales estudiadas presentó un comportamiento lineal, por lo cual se utilizaron los árboles de regresión.

Durante el periodo del evento El Niño 1997–1998 la biomasa de zooplancton disminuyó considerablemente (Sánchez–Velazco *et al.*, 2002), así como las capturas de calamar en la pesca comercial (Morales–Bojórquez *et al.*, 2001a; Nevárez–Martínez *et al.*, 2006, 2010), además que se vio reflejado en las capturas bajas de los cruceros de noviembre de 1997 y mayo de 1998 y la mayoría de ellas se localizaron en zonas en las que se presentaron concentraciones relativamente bajas de productividad primaria (entre ~ 800 y $1500 \text{ mgC/m}^2\text{d}^{-1}$) y profundidades mayores a los 400 m en la parte central del Golfo de California en latitudes mayores a los 28° N , en

ambos casos alejados de la influencia de las flotas pesqueras de Santa Rosalía B. C. S. y Guaymas, Sonora.

La distribución del calamar observada durante los cruceros de noviembre de 1997 y mayo de 1998 también posiblemente podría tener afinidad a la predominancia de mictófidios del género *Benthoosema* durante este periodo reportados por Sánchez-Velásco *et al.* (2004), ya que se ha registrado a los mictófidios como componente importante de la dieta del calamar gigante (Markaida & Sosa-Nishizaki, 2003) de acuerdo a las presas encontradas en los estómagos de *D. gigas* (Markaida, 2006). Para los cruceros siguientes, como el de febrero de 2003, se observó claramente que la mayoría de las capturas se localizaron en concentraciones de productividad primaria mayores a los 2000 mgC/m²d⁻¹, relacionadas estas capturas posiblemente a los eventos de surgencias que se llevan a cabo durante el invierno por consecuencia de la acción de los vientos en la costa este del Golfo de California (Lluch-Cota, 2000), aunado a la abundancia de pelágicos menores reportados en estas regiones durante las surgencias del invierno (Lluch-Cota *et al.*, 1999) que sirven también de alimento a los calamares (Markaida & Sosa-Nishizaki, 2003; Markaida, 2006). Aunque la temperatura del agua no fue la variable más importante en la relación encontrada por los CART, otros autores como Waluda y Rodhouse (2006) señalaron que temperaturas que oscilan entre 17 y 22°C dan las condiciones favorables para la pesquería del calamar gigante en las costas de Perú debido posiblemente a sitios relacionados con eventos de surgencias sobre todo en periodos del fenómeno La Niña cuando la intensidad de las surgencias comienza a incrementarse. En el Golfo de California los eventos de surgencias se llevan a cabo principalmente en la costa este del golfo durante el invierno de cada año (Lluch-Cota, 2000). Los resultados reportados por los anteriores autores coinciden con los del presente estudio ya que durante el crucero de febrero las mayores capturas de calamar se registraron en un intervalo de temperatura de 19 a 23°C.

El rango de temperatura en el cual se capturaron los calamares en el presente estudio es similar al reportado por Taipé *et al.* (2001) para los años 1991–1999 en las costas de Perú. La alta tolerancia del calamar gigante a los cambios de temperatura

hacen posible que esta variable ambiental no sea la principal determinante de su distribución y abundancia en el Golfo de California coincidiendo con lo reportado por Nevárez–Martínez *et al.* (2000), aunque trabajos como el de Brito–Castillo *et al.* (2000) sugieren una correlación significativa entre la temperatura del agua y la distribución y abundancia del calamar gigante, encontrando que las capturas mayores al 1% corresponden a un rango de temperatura de 12.8°C a 16.5°C, mientras que autores como Ehrhardt *et al.* (1982) sugirieron que *D. gigas* se distribuye en un rango de temperatura de 16°C a 30°C, similar a lo mencionado por Leal–Ocampo (1994), quien indicó que la captura de esta especie se lleva a cabo entre los 17°C y 29.9°C; en el presente trabajo encontramos que el 80% de las capturas oscilaron entre los 19.9°C y 27°C.

De acuerdo a los resultados de los CART, durante mayo se podrían encontrar altas abundancias de calamar en las zonas donde la profundidad del Golfo de California es más elevada (>350 m) y aunque las capturas no se realizaron a esas profundidades se asume que estos organismos habitaban esa zona en el momento en que fueron pescados bajo el conocimiento previo de que el calamar hace migraciones verticales diarias durante el día y la noche que llegan a sobrepasar los 400 m de profundidad (Nevárez-Martínez *et al.*, 2000; Markaida *et al.*, 2005; Gilly *et al.*, 2006).

La salinidad junto con la temperatura, ayudan a determinar masas de agua en el Golfo de California (Torres–Orosco, 1993); sin embargo, la salinidad no parece ser una variable determinante en la distribución y abundancia del calamar gigante ya que sólo apareció como variable explicativa durante los cruceros de junio de 2002 y mayo de 2004 registrando capturas en promedio más elevadas a salinidades bajas (<35.12 UPS para junio de 2002 y <30.90 UPS para mayo de 2004) al contrario del proceso físico causado por los efectos de las surgencias que acarrear agua del fondo con características de temperaturas bajas, salinidades elevadas y altas concentraciones de nutrientes.

8. CONCLUSIONES

Las biomásas del calamar entre cruceros mostraron variación, el método de áreas barridas fue más conservador para estimar las biomásas que el método de muestreo aleatorio estratificado. Lo anterior sugiere que el método de áreas barridas se puede considerar para las decisiones de manejo bajo un enfoque precautorio.

La distribución del calamar gigante dentro del Golfo de California varía en los diferentes meses del año soportando la hipótesis del posible movimiento desde Santa Rosalía, B.C.S. a Guaymas, Sonora, durante octubre-noviembre y el movimiento inverso a partir de mayo – junio.

Las concentraciones de organismos maduros indican que posiblemente se lleve a cabo un desove en la costa este del Golfo de California (Sonora) durante los periodos de surgencias (octubre a marzo).

Los organismos de tallas pequeñas (<30 cm de LM) habitan principalmente zonas de mayor profundidad alejadas a las costas y en la parte sur del Golfo de California mientras que los de mayor talla se concentran en zonas cercanas a la costa.

Es posible que la intensidad de los eventos de surgencias durante el invierno frente a las costas de Sonora determine la biomasa de calamar disponible estimada durante el reclutamiento de la cohorte en mayo–junio.

Las principales variables ambientales que explicaron la distribución y abundancia del calamar gigante fueron en orden de importancia: la batimetría, la productividad primaria neta y la temperatura superficial del mar.

9. REFERENCIAS

- Aguirre–Villaseñor, H., H.E. Morales–Bojórquez, R.E. Morán–Angulo, J. Madrid–Vera & M. C. Valdez–Pineda. 2006. Biological indicators for the Pacific sierra (*Scomberomorus sierra*) fishery in the southern Gulf of California, Mexico. *Cienc. Mar.* 32(3): 471-484.
- Alarcón–Muñoz, R., L. Cubillos & C. Gatica. 2008. Jumbo squid (*Dosidicus gigas*) biomass off central Chile: effects on Chilean hake (*Merluccius gayi*). *CalCOFI Rep.* 49: 157-166.
- Álvarez–Borrego, S. & R. A. Schwartzlose. 1979. Masas de agua del Golfo de California. *Cienc. Mar.* 6: 43-61
- Anderson, C. I. H. & P. G. Rodhouse. 2001. Life cycles, oceanography and variability: Ommastrephid squid in variable oceanographic environments. *Fish. Res.* 54: 133-143
- Anónimo. 2010. Anuario estadístico de acuicultura y pesca 2008. Comisión Nacional de Acuicultura y Pesca. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación, México. www.conapesca.sagarpa.gob.mx
- Argüelles J., P. G. Rodhouse, P. Villegas & G. Castillo. 2001. Age, growth and population structure of the Jumbo flying squid *Dosidicus gigas* in Peruvian waters. *Fish Res.* 54:51–61.
- Bazzino, G., C. Salinas–Zavala & U. Markaida. 2007. Variabilidad en la estructura poblacional del calamar gigante (*Dosidicus gigas*) en Santa Rosalía, región central del Golfo de California. *Cienc. Mar.* 33(2): 173-186.
- Bellier, E., B. Planque & P. Petitgas. 2007. Historical fluctuations in spawning location of anchovy (*Engraulis encrasicolus*) and sardine (*Sardina pilchardus*) in the Bay of Biscay during 1963-73 and 2000-2004. *Fish. Oceanogr.* 16(1): 1-15.

- Behrenfeld, M. J. & P. G. Falkowski. 1997. A consumer's guide to phytoplankton primary productivity models. *Limnology and Oceanography* 42(7): 1479-1491
- Bernal, G., P. Ripa & J. C. Herguera. 2001. Variabilidad oceanográfica y climática del bajo Golfo de California: influencias del trópico y Pacífico norte. *Cienc. Mar.* 27: 595-617
- Brieman, L., J. H. Friedman, R. A. Olshend & C. J. Stone. 1984. *Classification and regression trees* (Belmont, CA: Wadsworth International Group).
- Brito-Castillo, L., E. Alcantar-Razo, R. Morales-Azpeitia & C. A. Salinas-Zavala. 2000. Temperaturas del Golfo de California durante mayo y junio de 1996 y su relación con las capturas de calamar gigante (*Dosidicus gigas* D'Orbigny, 1835). *Cien. Mar.* 26(3): 413-440
- Brodziak, J. & L. Hendrickson. 1999. An analysis of environmental effects on survey catches of squids *Loligo pealei* and *Illex illecebrosus* in the northwest Atlantic. *Fish. Bull.* 97: 9-24
- Caddy, J. F. & P. G. Rodhouse. 1998. Cephalopod and groundfish landings: evidence for ecological change in global fisheries?. *Rev. Fish Biol. Fish.* 8: 431-444
- Chou, P. A. 1991. Optimal partitioning for classification and regression trees. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence* 13: 340-354
- Cochran, W. G. 1978. *Técnicas de Muestreo*. CECSA. México.
- Crawford, S. L. 1989. Extensions to the CART algorithm. *International Journal of Man-machine Studies* 31: 197-217.
- Cressie, N. A. C. 1993. *Statistics for spatial data*. John Wiley and Sons, New York. 900pp.
- Csirke, J. 1980. Introducción a la dinámica de poblaciones de peces. FAO, Doc. Téc. Pesca, (192): 82 p.

- Development Core Team. 2004. R: A Language and Environment for Statistical Computing. Vienna, Austria: R Foundation for Statistical Computing, ISBN 3-900051-00-3, URL: <http://www.R-project.org>
- De´Ath, G. & K. E. Fabricius. 2000. Classification and regression trees: a powerful yet simple technique for ecological data analysis. *Ecology* 81(11): 3178-3192
- Díaz–Uribe, J. G, A. Hernández–Herrera, E. M. Morales–Bojórquez, S. Martínez–Aguilar, M. C. Suárez–Higuera & A. Hernández–López. 2006. Validación histológica de los estadios de madurez gonádica de las hembras de calamar gigante (*Dosidicus gigas*) en el Golfo de California, México. *Cienc. Mar.* 32(1A): 23–31.
- Dymond, J. R. & P. G. Luckaman. 1994. Direct induction of compact rule-based classifiers for resource mapping. *Int. J. Geog. Info. Sys.* 8: 357-367
- Efron, B. & R. Tibshirani. 1991. Statistical data analysis in the computer age. *Science* 253: 390-395
- Ehrhardt, N. M., P. S. Jacquemin, G. González–Dávila, P. Ulloa–Ramírez, F. García–Badillo, J. Ortiz–Cobos, A. Solís–Nava. 1982. Descripción de la pesquería del calamar gigante *Dosidicus gigas* en el Golfo de California, flota y poder de pesca. *Ciencia Pesquera* 3: 41–60.
- Ehrhardt, N. M., P. S. Jacquemin, F. García, G. González, J. M. López, J. Ortiz & A. Solís. 1983. On the fishery and biology of the giant squid *Dosidicus gigas* in the Gulf of California, Mexico. In: Caddy, J. F. (Ed). *Advances in Assessment in of World Cephalopod Resources*. FAO Fish. Tech. Pap. 231: 306-340.
- Ehrhardt, N. M. 1991. Potential impact of a seasonal migratory jumbo squid *Dosidicus gigas* stock on a Gulf of California sardine (*Sardinops sagax caerulea*) population. *Bull. Mar. Sci.* 49 (1/2), 325–332.
- Espinosa–Carreón, T. L. & J. E. Valdez–Holguín. 2007. Variabilidad interanual de la clorofila en el Golfo de California. *Ecología Aplicada* 6(1, 2): 1-10

- Filauri–Valencia, N. 2005. Patrón de crecimiento y estructura poblacional del calamar gigante (*Dosidicus gigas*, Orbigny 1835) en la región central del Golfo de California. Tesis de Maestría. Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, Universidad Nacional Autónoma de México, Mazatlán, México. 59 p.
- Fournier, D., J. Siber, J. Majkowski & J. Hampton. 1990. MULTIFAN, a likelihood-based method for estimating growth parameters and age composition from multiple length frequency data sets illustrated by using data for southern bluefin tuna (*Thunnus maccoyii*). *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 47: 301–317.
- Haddon, M. 2001. *Modelling and Quantitative Methods in Fisheries*. Chapman & Hall, Boca Raton, 406 p.
- Hernández–Herrera, A., E. M. Morales–Bojórquez, M. O. Nevárez–Martínez, A. Balmori & G. I. Rivera–Parra. 1996. Distribución de tallas y aspectos reproductivos del calamar gigante (*Dosidicus gigas*, D’Orbigny, 1835) en el Golfo de California, México. *Ciencia Pesquera* 12: 85-89.
- Hernández–Herrera, A., E.M. Morales–Bojórquez, M. A. Cisneros–Mata, M. O. Nevárez–Martínez & G. I. Rivera–Parra. 1998. Management strategy for the giant squid (*Dosidicus gigas*) in the Gulf of California, Mexico. *CalCOFI Rep.* 39: 212-218.
- Jackson, D. G. 1990. Age and growth of the tropical of nearshore loliginid squid *Sepiotheutis lessoniana* determined for statolith growth – ring analysis. *Fish. Bull.* 88: 113-118.
- Klett, A. 1996. Pesquería del calamar gigante. *En: Casas–Valdez, M., Ponce–Díaz, G. (Eds.), Estudios del potencial pesquero y acuícola de Baja California Sur, vol. 1. CIB-CICIMAR-UABCS, pp. 127–149, 350.*
- Gilly, W. F., C. A. Elliger., C. A. Salinas., S. Camarillo–Coop, G. Bazzino & M. Beman. 2006. Spawning by jumbo squid *Dosidicus gigas* in San Pedro Martir Basin, Gulf of California. Mexico. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 313: 125-133

- Leal-Ocampo, R. 1994. Pesquería del calamar gigante *Dosidicus gigas* (D'Orbigny, 1835) en la zona del Pacífico mexicano. Tesis Maestría. Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas (CICIMAR). Instituto Politécnico Nacional. México. 81pp.
- Lipinski, M. R. & L. G. Underhill. 1995. Sexual maturation in squid: Quantum or continuum?. *S. Afr. J. Mar. Sci.* 15: 207–223.
- Lluch-Cota, S.E., D.B. Lluch-Cota, D. Lluch-Belda, M. O. Nevárez-Martínez, A. Pares-Sierra & S. Hernández-Vázquez. 1999. Variability of sardine catch as related to enrichment, concentration, and retention processes in the central Gulf of California. *CalCOFI Rep.* 40: 184-190.
- Lluch-Cota, S. E. 2000. Coastal upwelling in the Eastern Gulf of California. *Oceanol. Acta.* 23(6): 731-740
- Lluch-Cota, S. E., E. Aragón-Noriega, F. Arreguín-Sánchez, D. Aurióles-Gamboa, J. J. Bautista-Romero, R. C. Brusca, R. Cervantes-Duarte, R. Cortés-Altamirano, P. Del Monte-Luna, A. Esquivel-Herrera, G. Fernández, M. E. Hendrickx, S. Hernández-Vázquez, H. Herrera-Cervantes, M. Kahru, M. Lavín, D. Lluch-Belda, D. B. Lluch-Cota, J. López-Martínez, S. G. Marinone, M. O. Nevárez-Martínez, S. Ortega-García, E. Palacios-Castro, A. Parés-Sierra, G. Ponce-Díaz, M. Ramírez-Rodríguez, C. Salinas-Zavala, R. A. Schwartlose, A. P. Sierra-Beltrán. 2007. The Gulf of California: Review of ecosystem status sustainability challenges. *Prog. Oceanogr.* 73: 1-26
- Markaida, U. 2001. Biología del calamar gigante *Dosidicus gigas* D'Orbigny, 1835 (Cephalopoda: Ommastrephidae) en el Golfo de California, México. Tesis Doctoral. CICESE. Ensenada, B. C: 387p.
- Markaida, U. & O. Sosa-Nishizaki. 2001. Reproductive biology of jumbo squid *Dosidicus gigas* in the Gulf of California, 1995-1997. *Fish. Res.* 54: 63-82

- Markaida, U. & O. Sosa–Nishizaki. 2003. Food and feeding of jumbo squid *Dosidicus gigas* (Cephalopoda: Ommastrephidae) from the Gulf of California, Mexico. J. Mar. Biol. Ass. U. K. 83: 507-522
- Markaida, U., C. Quiñones–Velázquez & O. Sosa–Nishizaki. 2004. Age, growth and maturation of jumbo squid *Dosidicus gigas* (Cephalopoda: Ommastrephidae) from the Gulf of California, Mexico. Fish. Res. 66: 31-47.
- Markaida, U., J. J. C. Rosenthal & W. F. Gilly. 2005. Tagging studies on the jumbo squid, *Dosidicus gigas*, in the Gulf of California, Mexico. Fish. Bull. 103(1): 219–226.
- Markaida, U. 2006. Population structure and reproductive biology of jumbo squid *Dosidicus gigas* from the Gulf of California after the 1997–1998 El Niño event. Fish. Res. 79(1–2): 28–37.
- Martínez–Aguilar, S., E. Morales–Bojórquez., J. G. Díaz–Uribe., M. C. Suárez–Higuera & A. Hernández–Herrera. 2004. La pesquería del calamar gigante (*Dosidicus gigas*) en el Golfo de California. Recomendaciones de investigación y tácticas de regulación. Comisión Nacional de Acuacultura y Pesca, Instituto Nacional de la Pesca, Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. México. 70p.
- McPhaden, M. J. 2004. Evolution of the 2002–2003 El Niño. Bull. Am. Meteor. Soc. 85, 677, doi:10.1175/BAMS-85-5-677.
- Mejía–Rebollo, A., C. Quiñones–Velázquez, C. Salinas–Zavala & U. Markaida. 2008. Age growth and maturity of jumbo squid (*Dosidicus gigas* D´Orbigny, 1835) off western coast of the Baja California Peninsula. CalCOFI Reports 49: 256-262
- Morales–Bojórquez, E. M., A. Hernández–Herrera, M. O. Nevárez–Martínez, A. Díaz de León, G. I. Rivera–Parra & A. Ramos. 1997. Abundancia poblacional del calamar gigante (*Dosidicus gigas*) en las costas de Sonora, México. Océánides 12(2): 89-95.

- Morales–Bojórquez, E. M., A. Cisneros–Mata, M. O. Nevárez–Martínez & A. Hernández–Herrera. 2001a. Review stock assessment and fishery biology of *Dosidicus gigas* in the Gulf of California, Mexico. *Fish. Res.* 54: 83-94
- Morales–Bojórquez, E. M., S. Martínez–Aguilar, F. Arreguín–Sánchez & M. O. Nevárez–Martínez. 2001b. Estimations of catchability at length for the jumbo squid (*Dosidicus gigas*) fishery in the Gulf of California. *CalCOFI Rep.* 42: 167-171.
- Morales–Bojórquez, E., A. Hernández–Herrera., M. O. Nevárez–Martínez., M. A. Cisneros–Mata & F. J. Guerrero–Escobedo. 2001c. Population size and exploitation of giant squid (*Dosidicus gigas* D'Orbigny, 1835) in the Gulf of California, Mexico. *Scien. Mar.* 65(1): 75-80.
- Nesis, K. N. 1983. *Dosidicus gigas*. En: *Cephalopod life cycles*. Vol. I. species accounts. P. R. Boyle (ed). Academic Press. London Reino Unido. p. 215-231.
- Nevárez–Martínez, M. O. & E. M. Morales–Bojórquez. 1997. El escape proporcional y el uso del punto de referencia biológico $F\%BR$, para la explotación del calamar gigante, *Dosidicus gigas*, del Golfo de California, México. *Oceánides* 12(2): 97-105.
- Nevárez–Martínez, M. O., E. Morales–Bojórquez, G. I. Rivera–Parra, D. Lluch–Cota & J. López–Martínez. 1999. El niño y sus efectos en la pesquería de calamar gigante (*Dosidicus gigas*) del Golfo de California. *Pesca y Conservación* 3: 6–8.
- Nevárez–Martínez, M. O., A. Hernández–Herrera, E. Morales–Bojórquez, A. Balmori–Ramírez, M. A. Cisneros–Mata & R. Morales–Azpeitia. 2000. Biomass and distribution of the jumbo squid (*Dosidicus gigas*; d'Orbigny, 1835) in the Gulf of California, Mexico. *Fish. Res.* 49: 129–140.
- Nevárez–Martínez, M. O., D. I. Rivera–Parra, E. Morales–Bojórquez, J. López–Martínez, D. B. Lluch–Cota, E. Miranda–Mier & C. Cervantes–Valle. 2002. The jumbo squid (*Dosidicus gigas*) fishery of the Gulf of California and its relation to environmental variability. *En: Memorias en El Niño Symposium Workshop*. Escuela de Ciencias del Mar. Universidad Católica de Valparaíso. Chile: 193-194pp.

- Nevárez–Martínez, M. O., F. J. Méndez–Tenorio, C. Cervantes–Valle, J. López–Martínez & M. L. Anguiano–Carrasco. 2006. Growth, mortality, recruitment, and yield of the jumbo squid (*Dosidicus gigas*) off Guaymas, México. *Fish. Res.* 79: 38–47.
- Nevárez–Martínez, M. O., E. Morales–Bojórquez & G. I. Rivera–Parra. 2008. La pesquería de calamar gigante *Dosidicus gigas* (Orbigny, 1835) del Golfo de California y su relación con la variabilidad ambiental. *En: Variabilidad Ambiental y Pesquerías de México*, López–Martínez, J. (Ed.), Comisión Nacional de Acuacultura y Pesca, México. 129-140 pp.
- Nevárez–Martínez, M. O., E. Morales–Bojórquez, C. Cervantes–Valle, J. P. Santos–Molina & J. López–Martínez. 2010. Population dynamics of the jumbo squid (*Dosidicus gigas*) in the 2002–2008 fishing seasons off Guaymas, Mexico. *Fish. Res.* 106: 132–140.
- Nigmatullin, Ch. M., K. N. Nesis & A. I. Arkhipkin. 2001. A review of the biology of the jumbo squid *Dosidicus gigas* (Cephalopoda: Ommastrephidae). *Fish. Res.* 54: 9-19
- O’Dor, R. 1992. Big squid in big currents. *S. Afr. J. Mar. Sci.* 12: 225-235
- O’Dor, R. & M. L. Coehlo. 1993. Big squid, big currents and big fisheries. *En: Okutani, T., O’Dor, R., Kubodera, T. (eds), Recent Advances in Fisheries Biology*. Tokai University Press. Tokio, Japón, pp. 385-396
- Phleger, F. B. 1963. Oceanografía física y ecología de foraminíferos del Golfo de California. *Bol. Soc. Geol. Mexicana.* 26: 75-83
- Pierce, G. & Guerra, A. 1994. Stock assessment method used for cephalopod fisheries. *Fish. Res.* 21: 225-285
- Poole, R. W. 1974. *An Introduction to Quantitative Ecology*. McGraw – Hill Series in Population Biology. U. S. A. 531pp.

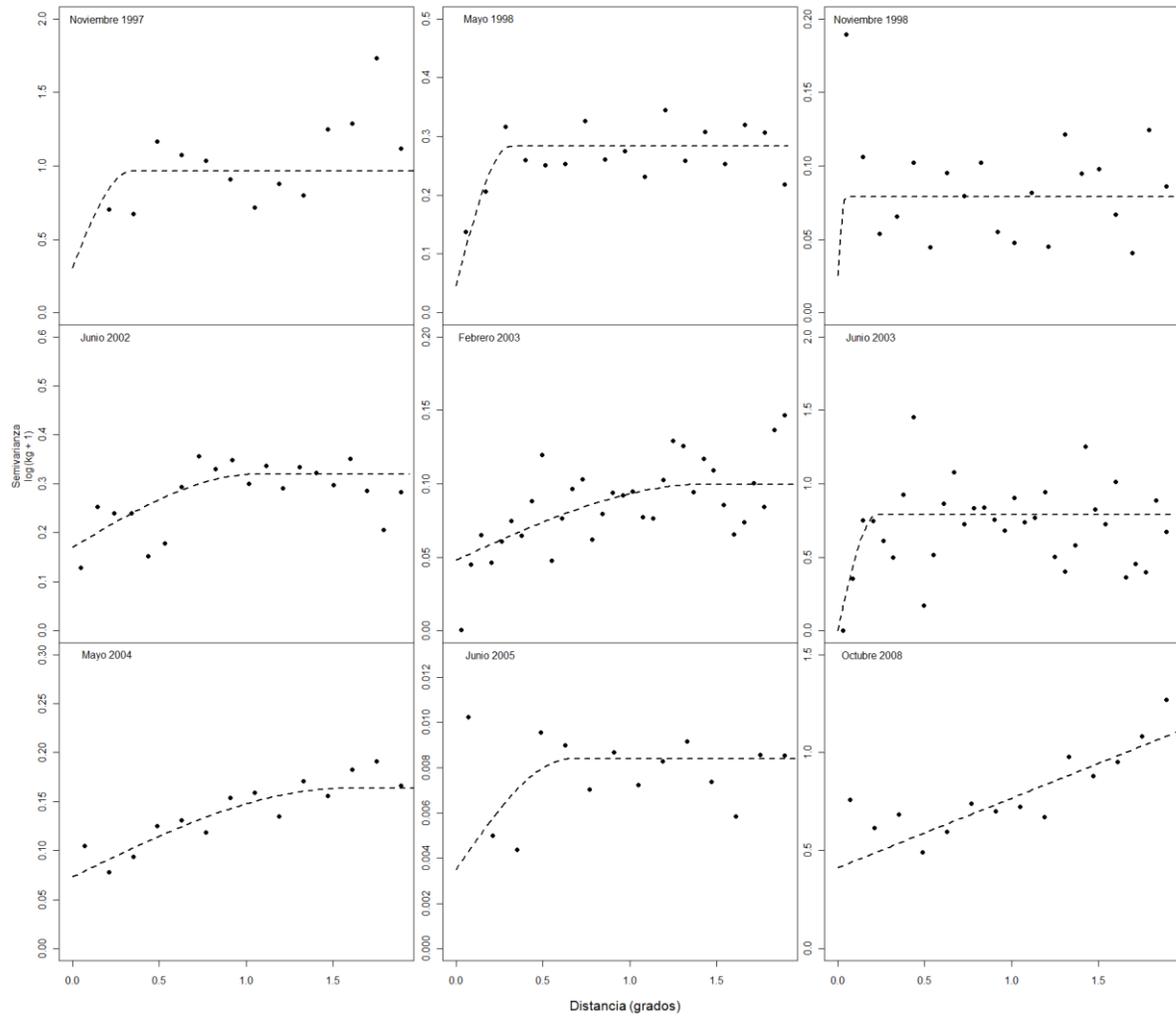
- Ribeiro, J. R. & P. J. Diggle. 2001. geoR: A Package for Geostatistical Analysis. R-NEWS 1: ISSN 1609-3631. Available for download at: <http://cran.r-project.org/doc/Rnews>
- Rivera–Parra, G. I. 2001. La pesquería de calamar gigante *Dosidicus gigas*, (d'Orbigny, 1835) en el Golfo de California. Tesis Doctoral. Universidad de Colima. Colima, Col. 96p.
- Rocha F. & M. A. Vega. 2003. Overview of cephalopod fisheries in Chilean waters. Fish. Res. 60: 151-159
- Roche, Al. 2009. Árboles de decisión y series de tiempo. Tesis de Maestría. Facultad de Ingeniería. Universidad de la República. Montevideo, Uruguay. 83 p.
- Roden, G.I. & G. W. Groves. 1959. Recent Oceanographic Investigations in the Gulf of California. J. Mar. Res. 18: 10-35
- Rodhouse, P. G., E. G. Dawe & R. K. O'dor. 1998. Squid recruitment dynamics. FAO Training. Vol. 376. Roma, Italia. 287.
- Rodhouse, P. G. 2001. Managing and forecasting squid fisheries in variable environments. Fish. Res. 54: 3-8
- Rosenberg, A. A., G. P. Kirkwood, J. A. Crombie & J. R. Beddington. 1990. The assessment of stocks of annual squid species. Fish. Res. 8:335–350.
- Sánchez–Velasco, L., Valdez–Holguín, J.E., Shirasago, B., Cisneros–Mata, M.A., Zarate, A., 2002. Changes in the spawning environment of *Sardinops caeruleus* in the Gulf of California during El Niño 1997–1998. Est. Coast. Shelf Sci. 54: 207–217.
- Sánchez–Velasco, L., Avalos–García, C., Rentería–Cano, M., Shirasago, B. 2004. Fish larvae abundance and distribution in the central Gulf of California during strong environmental changes (1997–1998 El Niño and 1998–1999 La Niña). *En:*

- Farber-Lorda, J., (ed.), Oceanography of the Eastern Pacific, vol. III, Deep-Sea Res. II, 51(6-9), 711-722.
- Salinas-Zavala, C., D. Lluch-Belda, S. Hernández-Vázquez & D. B. Lluch-Cota. 1998. La aridez del noroeste de México: un análisis de su variabilidad espacial y temporal. *Atmósfera* 11: 29-44
- Sancetta, C. 1995. Diatoms of Gulf of California: Seasonal flux patterns and sediment record for the last 15000 years. *Paleoceanography* 10: 67-84
- Schaeffer, R.L. 1987. Elementos de muestreo. Grupo Editorial Iberoamérica, México: 321p.
- Sonquist, J. A. & J. N. Morgan. 1964. The Detection of Interaction Effects. Survey Research Center, University of Michigan.
- Soto-Mardones, L., S. G. Marinone & A. Parés-Sierra. 1999. Variabilidad espaciotemporal de la temperatura superficial del mar en el golfo de California. *Cien. Mar.* 25(1): 1-30
- Sparre, P. & S. C. Venema. 1997. Introduction to tropical fish stock assessment. Manual. Food and Agricultural Organization of the United Nations. Part 1. FAO Fish. Tech. Paper. Rome, Italy.
- Taipé, A., C., Yamashiro, L. Mariastegui, P. Rojas & C. Roque. 2001. Distribution and concentrations of jumbo flying squid (*Dosidicus gigas*) off the Peruvian coast between 1991 and 1999. *Fish. Res.* 54: 21-32
- Torres-Orosco, E. 1993. Análisis volumétrico de las masas de agua del Golfo de California. Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada. Tesis de Maestría. Ensenada, Baja California, México: 80pp.
- Valdez-Holguín, J. E., S. Álvarez-Borrego & C. C. Charles. 1999. Caracterización estacional y espacial de los parámetros fotosintéticos del fitoplancton del Golfo de California. *Cien. Mar.* 25(4): 445-467

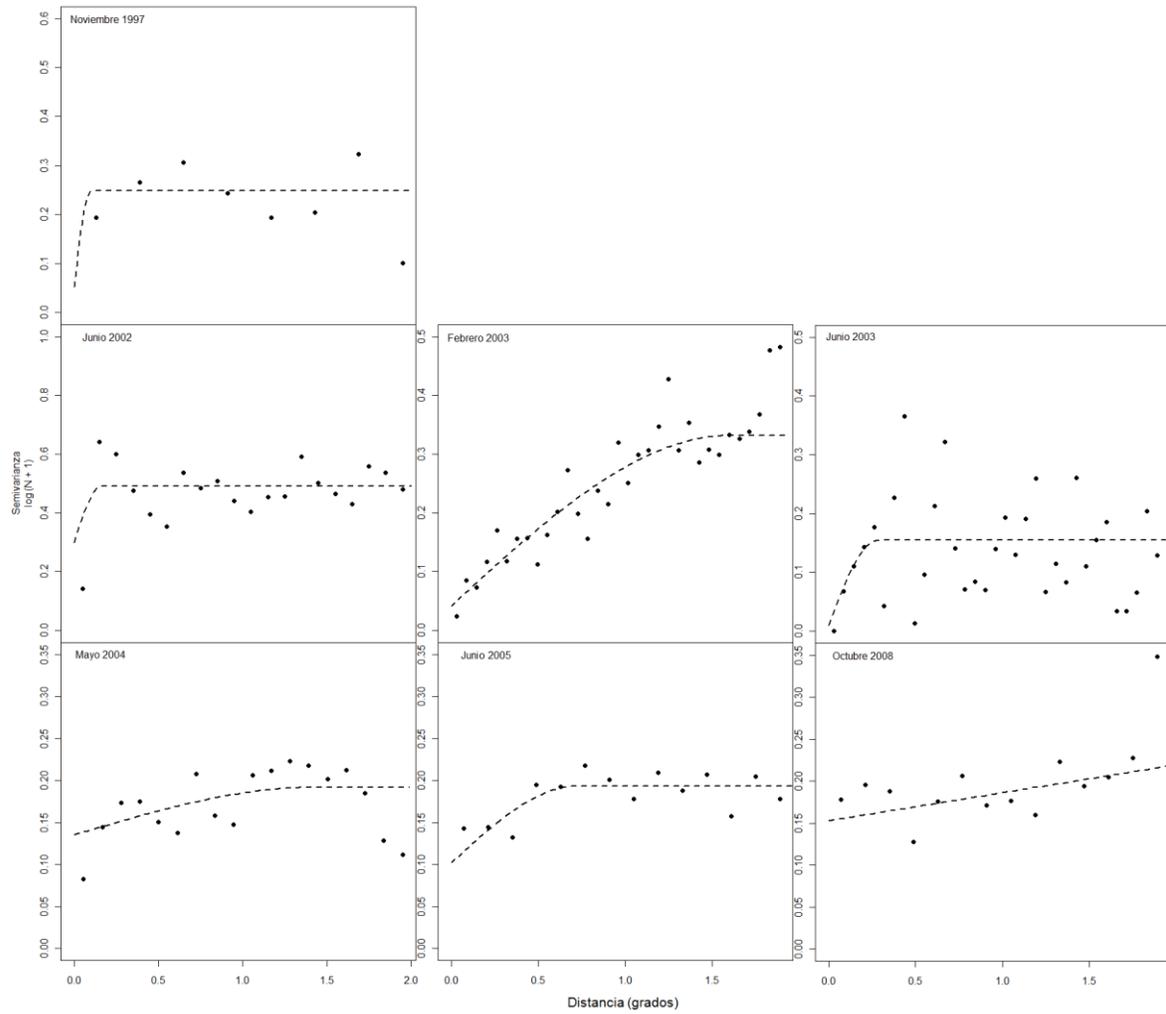
- Waluda, C. M., P. G. Rodhouse, P. N. Trathan & G. J. Pierce. 2001. Remotely sensed mesoscale oceanography and the distribution of *Illex argentinus* in the South Atlantic. *Fish. Oceanogr.* 10: 207-216
- Waluda, C. M., C. Yamashiro, C. D. Elvidge, V. R. Hobson & P. G. Rodhouse. 2004. Quantifying light-fishing for *Dosidicus gigas* in the eastern Pacific using satellite remote sensing. *Remote Sensing of Environmental* 91: 121-133
- Waluda, C. M. & P. G. Rodhouse. 2006. Remotely sensed mesoscale oceanography of the Central Eastern Pacific and recruitment variability in *Dosidicus gigas*. *Mar. Ecol. Progr. Ser.* 310: 25-32

ANEXOS

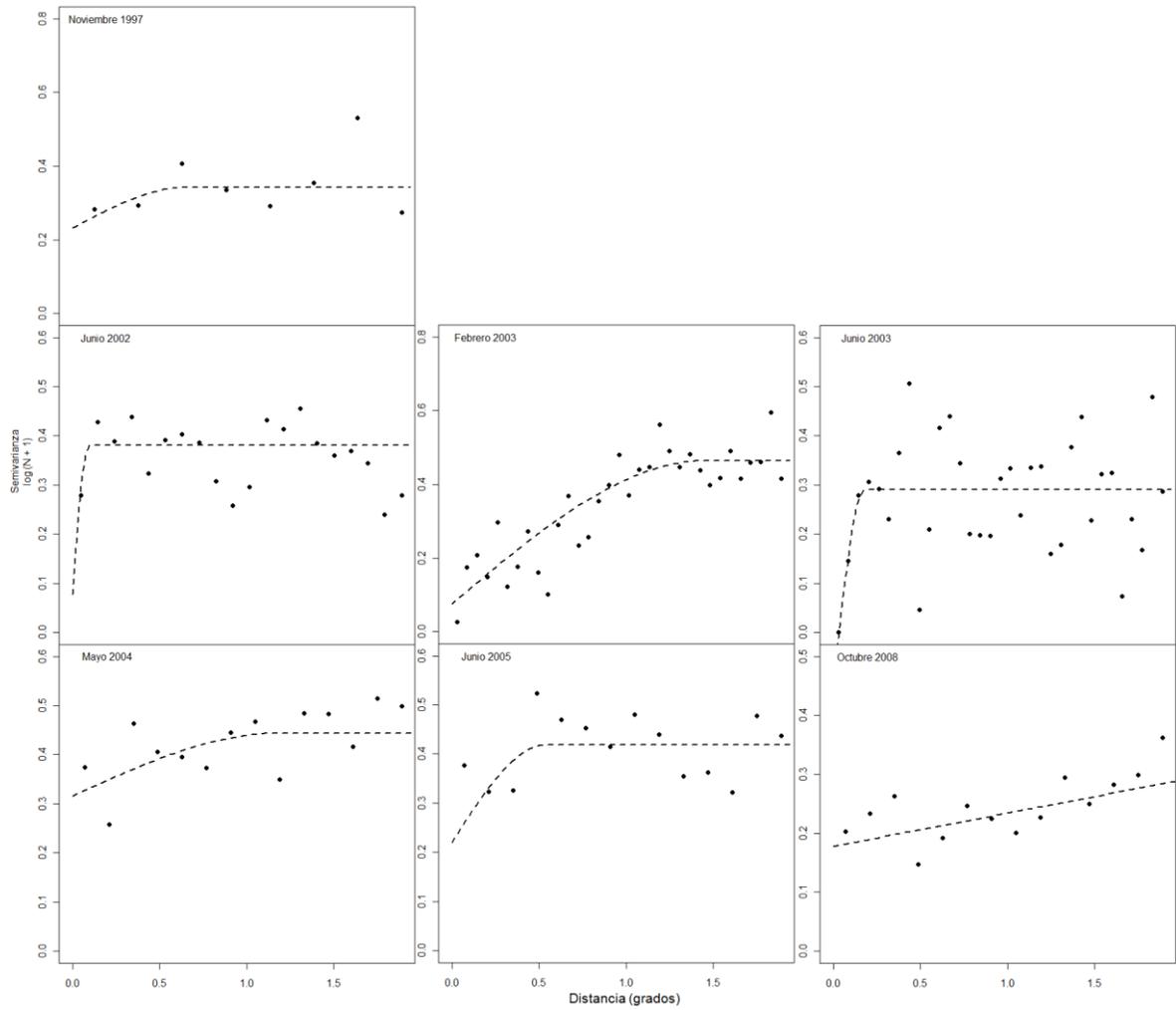
Anexo 1. Variogramas ajustados para los mapas de contornos de las capturas de calamar gigante *Dosidicus gigas* en la región central del Golfo de California.



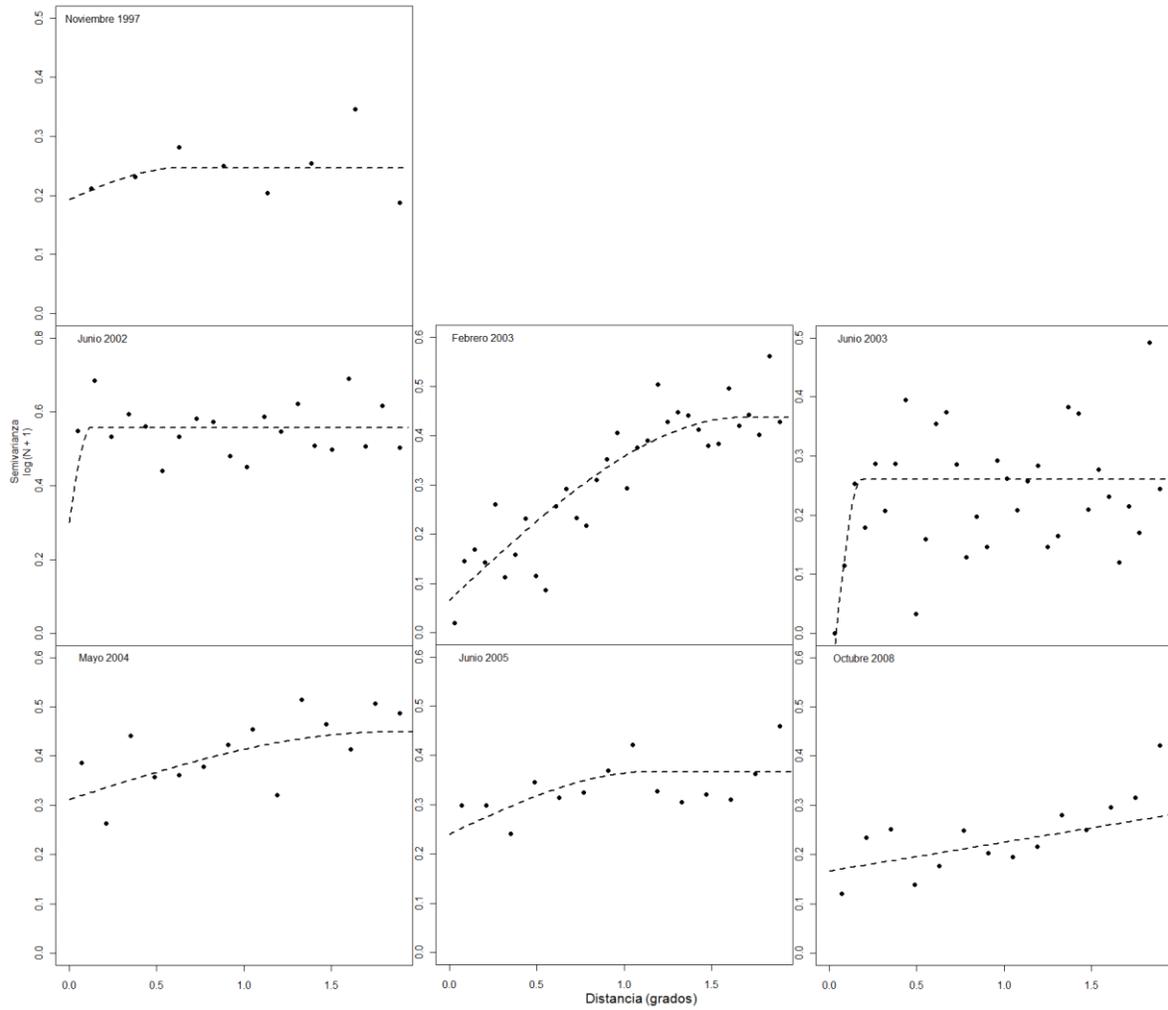
Anexo 2. Variogramas ajustados para los mapas de contornos de las capturas de machos calamar gigante *Dosidicus gigas* en la región central del Golfo de California.



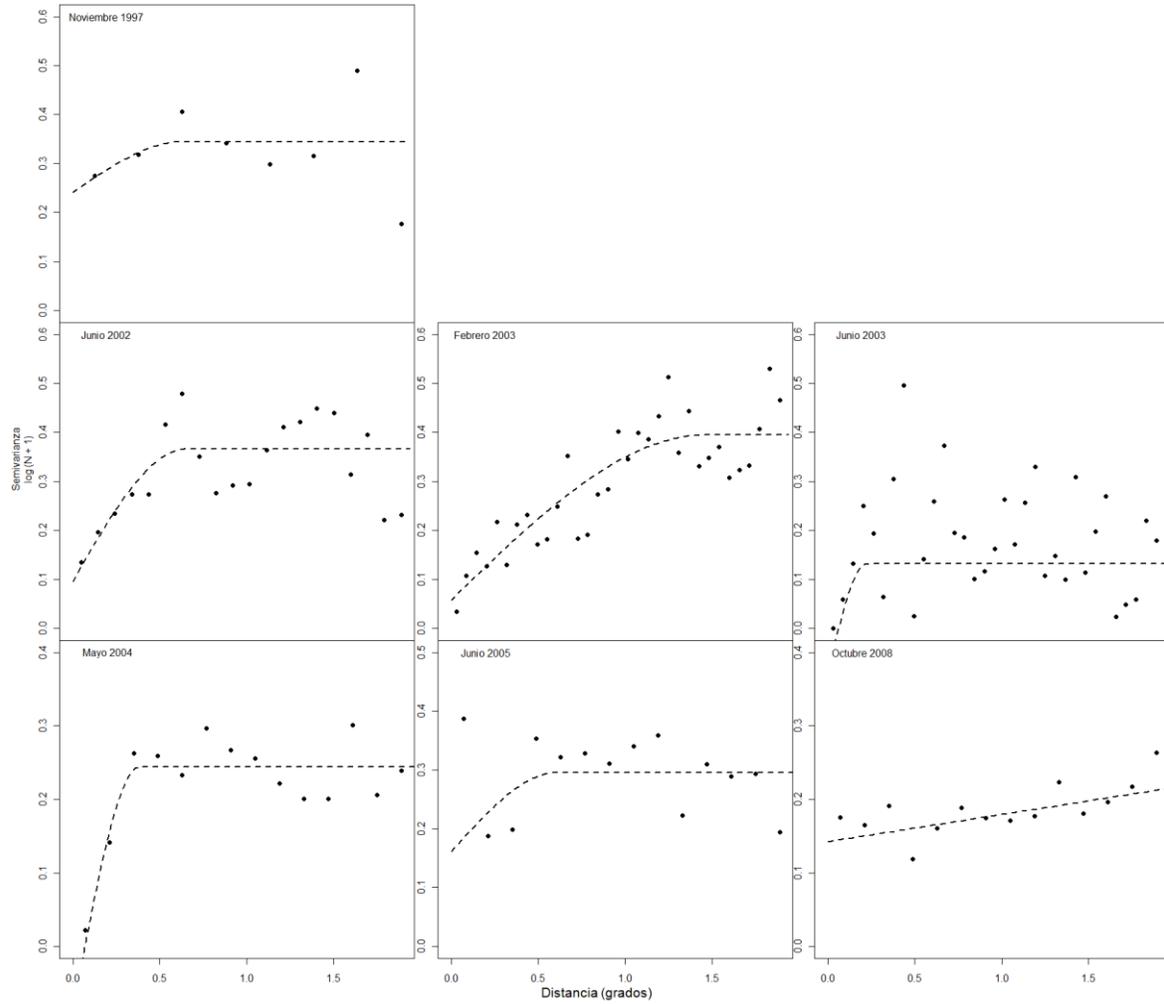
Anexo 3. Variogramas ajustados para los mapas de contornos de las capturas de hembras calamar gigante *Dosidicus gigas* en la región central del Golfo de California.



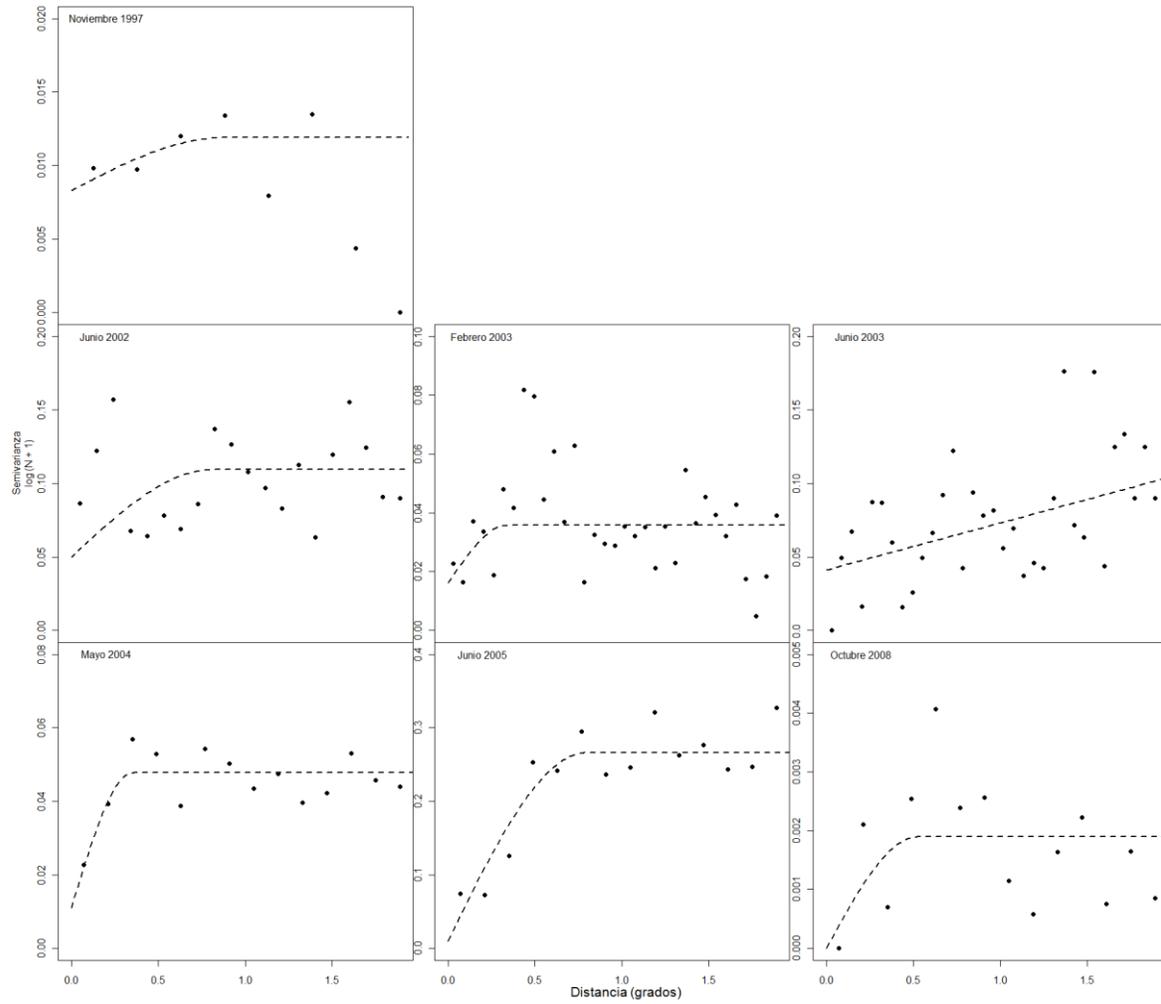
Anexo 4. Variogramas ajustados para los mapas de contornos de las capturas de inactivos reproductivamente de calamar gigante *Dosidicus gigas* en la región central del Golfo de California.



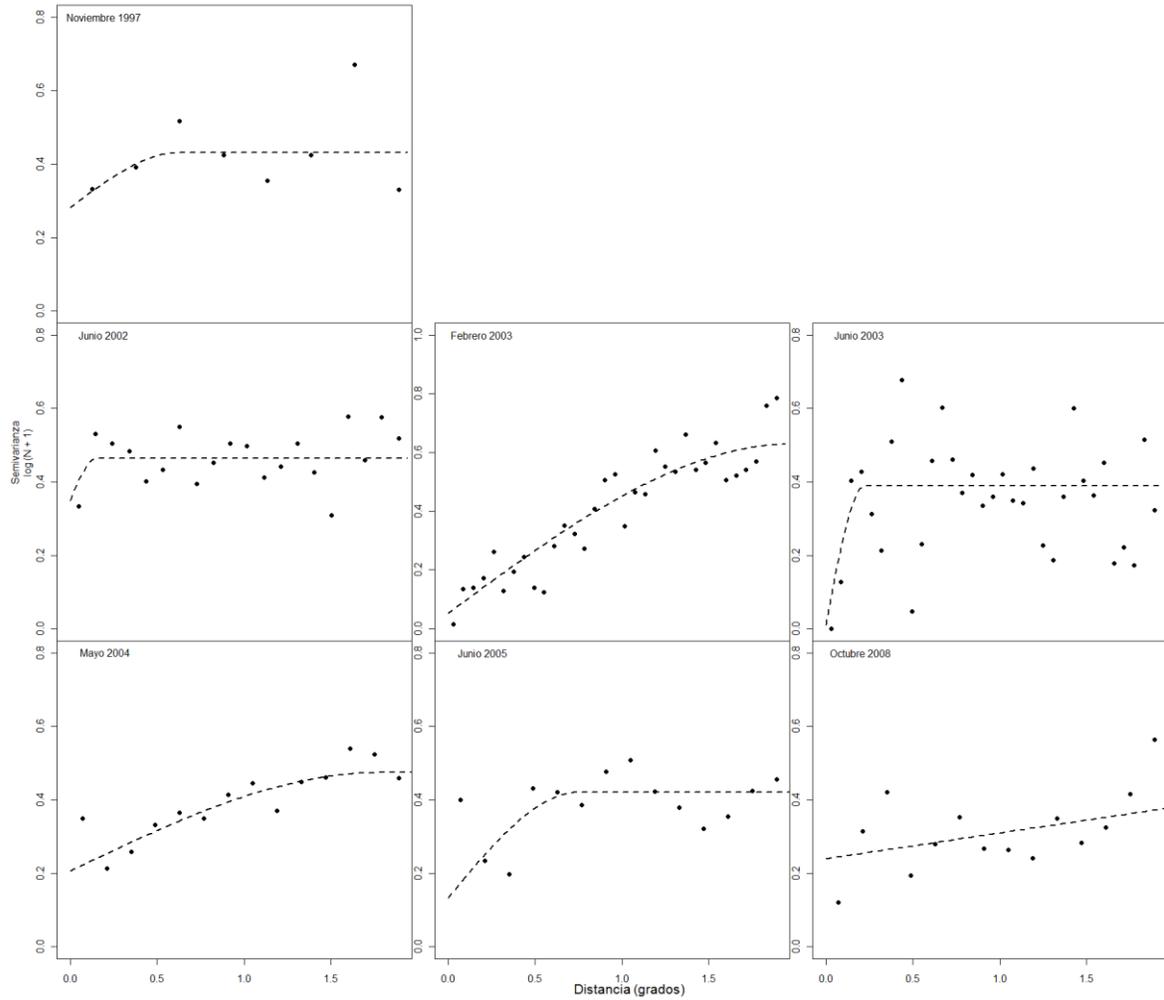
Anexo 5. Variogramas ajustados para los mapas de contornos de las capturas de activos reproductivamente calamar gigante *Dosidicus gigas* en la región central del Golfo de California.



Anexo 6. Variogramas ajustados para los mapas de contornos de las capturas de organismos menores a 30 cm de LM de calamar gigante *Dosidicus gigas* en la región central del Golfo de California.



Anexo 7. Variogramas ajustados para los mapas de contornos de las capturas de organismos mayores a 30 cm de LM de calamar gigante *Dosidicus gigas* en la región central del Golfo de California.



**PRODUCTOS
DERIVADOS DE LA TESIS**

DISTRIBUCIÓN DE TALLAS Y CONDICIÓN REPRODUCTIVA DEL CALAMAR GIGANTE *Dosidicus gigas* (D'ORBIGNY, 1835) EN EL GOLFO DE CALIFORNIA

Velázquez-Abunader, J. I.¹, M. O. Nevárez-Martínez² & A. Hernández-Herrera¹

¹Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas, Instituto Politécnico Nacional, Av. I.P.N. s/n Colonia Playa Palo de Santa Rita, Apartado Postal 592, CP 23000, La Paz, Baja California Sur, México. Autor correspondiente: e-mail: Tel: +52 (612) 123 4658, Fax: +52 (612) 122 5322. ²Instituto Nacional de la Pesca, CRIP Guaymas, Calle 20 Sur No. 605, Guaymas, Sonora, C.P. 85400, México. email: jvelazqueza@ipn.mx.

RESUMEN. Se analizaron cambios en la distribución de tallas, número de cohortes y condición reproductiva del calamar gigante *Dosidicus gigas* utilizando muestras provenientes de siete cruceros oceanográficos de investigación, efectuados en la región central del Golfo de California, México de 1997 a 2008. En todas las estaciones se muestrearon hasta 25 ejemplares registrando longitud del manto, sexo y fase de madurez gonádica, y cuando la captura lo permitió, se realizó un muestreo masivo de 100 ejemplares a los cuales se les midió la longitud de manto. Se definieron hasta tres grupos modales o cohortes en algunos de los meses estudiados a través de la técnica de distribución multinomial. De acuerdo con las fases de madurez se observó una amplia temporada de reproducción con dos picos importantes a lo largo del año que coincidieron con las posibles fechas de nacimiento estimadas para las tallas promedio por cada cohorte de acuerdo a la ecuación de edad-longitud usada en el presente estudio (abril – agosto y octubre - febrero). Se estimó la talla promedio de primera madurez por sexo a través de modelos logísticos; los machos maduran a tallas más pequeñas que las hembras aunque no se encontraron diferencias significativas entre las tallas promedio de madurez por sexo ($P > 0.05$). Los resultados apoyan la hipótesis de la existencia de múltiples cohortes de calamar gigante en el Golfo de California, dos periodos de eclosión importantes y el número de cohortes presenta variación interanual. Esto sugiere la necesidad de un monitoreo constante del recurso para un mejor manejo de la pesquería.

Palabras clave: Reproducción, madurez, cohortes, calamar gigante, Golfo de California, México.

Size distribution and reproductive condition of the jumbo squid *Dosidicus gigas* (D'Orbigny, 1835) in the Gulf of California

ABSTRACT. Variations in size frequency distribution, number of cohorts, and reproductive status of the jumbo squid *Dosidicus gigas* were analyzed in samples from seven research oceanography cruises in the central region of the Gulf of California, Mexico from 1997 to 2008. In each station we recorded sex, gonadic phase and mantle length for up to 25 squids. When capture made it possible mantle length was measured for 100 squids. We defined up to three modal groups or cohorts for several months through a multinomial distribution analysis. According to the reproductive status squids showed a long breeding season throughout the year with two major peaks which match the birth dates estimated by the age-length chart (April to August and October to February). The size at first maturity was estimated by genders; although males mature at a smaller size than females no significant differences between size at first maturity by genders were detected. Our results suggest that size frequency distribution and reproductive condition of jumbo squid support the hypothesis of the multiple cohort presence in the Gulf of California, two important periods of birth and the number of cohort's present variation, suggesting the need for a constant monitoring of the resource for a better management of the fishery.

Keywords: Jumbo squid, size frequency, size at maturity, Gulf of California, Mexico.

Velázquez-Abunader, J. I., M. O. Nevárez-Martínez & A. Hernández-Herrera. 2010. Distribución de tallas y condición reproductiva del calamar gigante *Dosidicus gigas* (D'Orbigny, 1835) en el Golfo de California. *CICIMAR Oceánides*, 25(2): 103-110.

INTRODUCCIÓN

El calamar gigante *Dosidicus gigas* (D'Orbigny, 1835) es una especie epipelágica con amplia distribución en el Océano Pacífico Oriental (Nigmatullin *et al.*, 2001). Aunque se puede localizar desde Chile hasta California, E.U.A., se han ubicado dos zonas importantes de captura en las costas de Perú y el Golfo de California, México (Taipé *et al.*, 2001; Nevárez-Martínez *et al.*, 2006).

En el golfo la explotación pesquera de calamar es realizada principalmente por pescadores de las regiones de Santa Rosalía (Baja California Sur) y Guaymas (Sonora) con em-

barcaciones menores de 10 t de capacidad y barcos camaroneros no utilizados durante la veda del camarón. De hecho, en los últimos años la captura de calamar gigante en el Golfo de California se ha mantenido por encima de las 50,000 t con repuntes mayores a 100,000 t durante 2002 y 2004 (Anónimo, 2008).

El manejo de la pesquería se encuentra estrechamente ligado a los niveles de abundancia del recurso, por lo que se ha adoptado la propuesta de limitar el número de permisos de pesca e implementar el escape proporcional correspondiente al 40% de la biomasa disponible (Morales-Bojórquez *et al.*, 1997; Nevárez-Martínez & Morales-Bojórquez, 1997;

Hernández-Herrera *et al.*, 1998; SAGARPA, 2006). Estas medidas regulatorias están basadas en modelos de biomasa que consideran una sola cohorte (Hernández-Herrera *et al.*, 1998). Sin embargo, observaciones a través del tiempo muestran la posible coexistencia de múltiples cohortes dentro del Golfo de California. Ehrhardt *et al.* (1983) describieron cinco cohortes de la pesquería de calamar gigante en el Golfo de California durante la década de 1980. Posteriormente, Hernández-Herrera *et al.* (1998) mediante análisis de progresión modal encontraron que la captura de *D. gigas* está sostenida principalmente por una sola cohorte que se recluta durante mayo y junio con tallas desde los 24 cm de longitud de manto. Por su parte Morales-Bojórquez *et al.* (2001) estimaron la presencia de tres cohortes a través de un modelo determinístico de capturabilidad y Filauri-Valencia (2005) y Markaida *et al.* (2004) reportaron la probable presencia de más de una cohorte mediante lecturas de estatolitos y distribuciones de tallas.

Sobre aspectos reproductivos del calamar gigante, Ehrhardt *et al.* (1983) registraron altos porcentajes de calamares maduros en el Golfo de California durante diciembre y enero, indicando que posiblemente los desoves se lleven a cabo a principios del invierno. Mientras, Hernández-Herrera *et al.* (1996) observaron que el calamar gigante podría tener su principal pico de reproducción entre enero y mayo. Al respecto, Bazzino *et al.* (2007) encontraron que, en organismos capturados en Santa Rosalía, B.C.S., la proporción de hembras maduras se incrementa hacia octubre, sin embargo, también señalan que es muy probable que el desove se lleve a cabo en otras regiones del Golfo, ya que es posible que esta zona sea aprovechada principalmente para alimentación y no reproducción, debido a que comúnmente existe dominancia de machos sobre hembras. Finalmente, se ha observado que la estructura poblacional (composición de tallas y madurez reproductiva del calamar gigante) puede variar interanualmente (Bazzino *et al.*, 2007) y que pudiera relacionarse con la disponibilidad de alimento (Markaida *et al.*, 2004).

Debido a lo anterior, en el presente trabajo se analizó la estructura de la población del calamar gigante en el Golfo de California utilizando la distribución de frecuencias de tallas, fases de madurez, talla promedio de primera madurez y periodo de eclosión con base en una ecuación edad – longitud, previamente establecida con el objetivo de evidenciar la posible existencia de múltiples cohortes y los periodos de eclosión de cada una de ellas. Se utilizaron registros independientes a la pesquería

obtenidos a través de cruceros oceanográficos de investigación, lo que permitió probar la hipótesis de la existencia de múltiples cohortes en el Golfo de California que, como consecuencia, pudiera modificar la biomasa y esta a su vez la estimación del escape proporcional (40%).

MATERIAL Y MÉTODOS

Se realizaron siete cruceros oceanográficos de investigación en el Golfo de California (Fig. 1) a bordo del buque BIP XI perteneciente al Instituto Nacional de Pesca (INAPESCA) durante noviembre de 1997, junio de 2002, febrero y junio de 2003, mayo de 2004, junio de 2005 y octubre de 2008 (Fig. 2). La planeación de la cobertura de los cruceros estuvo basada en la distribución de las áreas de captura reportadas en ese momento, con la finalidad de tener la mejor representación de las características de la población. Las operaciones de pesca en cada estación se realizaron utilizando seis líneas manuales con poteras de diferente tamaño (máximo 3.1 cm de diámetro) y colores lo cual permitió capturar calamares dentro de un rango de tallas más amplio que el reportado para la pesca comercial; se usó luz como atrayente de calamar (mayores detalles en Nevárez-Martínez *et al.*, 2000).

En cada estación se obtuvo una muestra aproximada de 100 calamares de manera aleatoria, a los cuales se les midió la longitud de manto (LM) (Sparre & Venema, 1997) con un ictiómetro de 1 cm de precisión para la clasificación de frecuencias de talla. Asimismo, se escogieron al azar hasta 25 organismos y a cada uno se le determinó el sexo y el grado

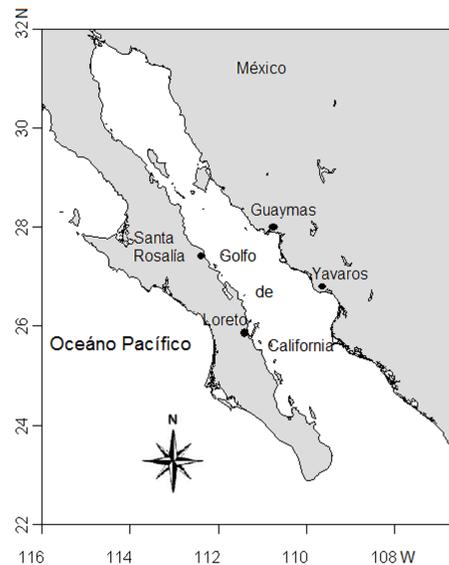


Figura 1. Área de estudio. Golfo de California
Figure 1. Study area. Gulf of California

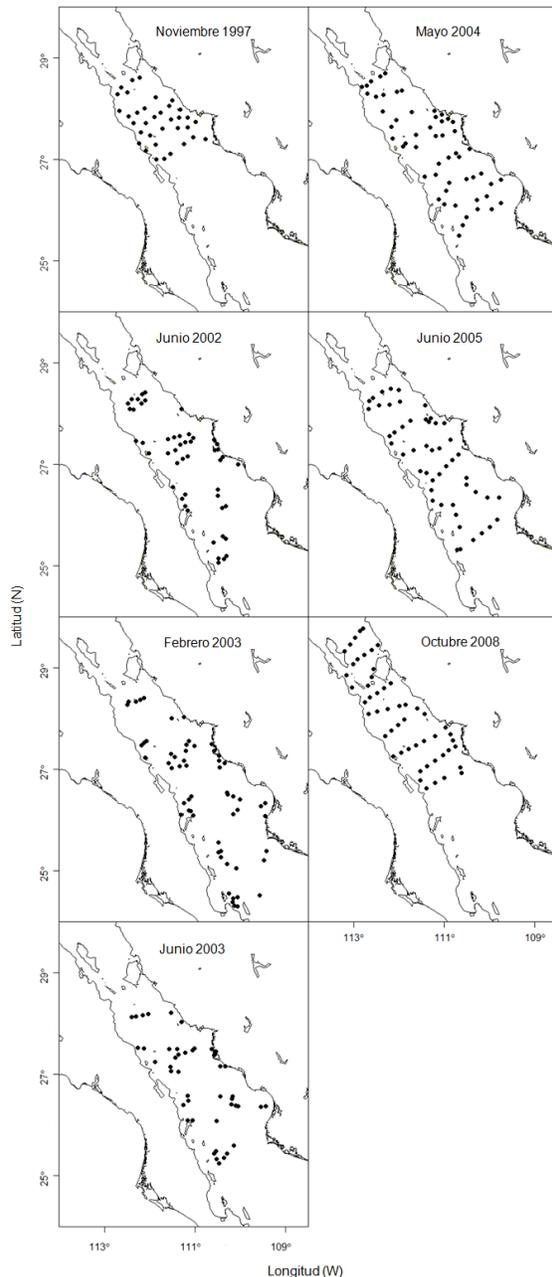


Figura 2. Estaciones de muestreo por crucero para la captura de *Dosidicus gigas* en el Golfo de California, México.

Figure 2. Sampling stations per cruise for the catch of *Dosidicus gigas* in the Gulf of California, Mexico

de madurez sexual mediante la escala morfocromática propuesta por Lipinski y Underhill (1995) la cual describe seis fases reproductivas con base en la coloración y textura de las gónadas: I – Juvenil, II – Inmaduro, III – Preparatorio, IV – En maduración, V – Maduro y VI – Desovado.

Para el análisis de distribuciones de frecuencias de tallas los datos se agruparon en intervalos de 2 cm de LM y se aplicó un análisis de progresión modal, determinando modas y tallas promedio presentes en la captura de cada crucero según la técnica de distribución multinomial (Haddon, 2001; Aguirre-Villaseñor *et al.*, 2006). El supuesto de esta técnica es que la distribución de tallas y cada longitud promedio pueden ser tratadas con base en una distribución normal y cada moda puede ser interpretada como un cohorte (Fournier *et al.*, 1990 ; Aguirre-Villaseñor *et al.*, 2006).

Se estimó la edad de cada grupo modal utilizando la relación promedio calculada a partir de claves de edad – LM, propuestas por Filauri-Valencia (2005) y que presenta la siguiente ecuación de crecimiento logístico integral:

$$L_t = \frac{L_\infty}{1 + e^{-k(t-t_0)}}$$

Donde: L_t es la longitud de manto promedio de cada grupo modal al tiempo t ; L_∞ es la longitud de manto máxima teórica ($L_\infty = 105.4$ cm de LM); k es la tasa de crecimiento anual ($k = 0.0082$); t_0 es la edad en la cual la tasa de crecimiento del calamar cambia ($t_0 = 259$ días); y t es la edad en días del calamar que fue calculada numéricamente con respecto a L_t con la ayuda de la rutina SOLVER incluida en el programa Microsoft Office Excel 2007.

Por otra parte, con las tallas de calamares activos reproductivamente, en las fases III a VI de madurez según Díaz-Uribe *et al.* (2006), se calculó la talla promedio de primera madurez a través del modelo logístico (Sparre & Venema, 1997):

$$P = \frac{1}{1 + e^{(a-bLM)}}$$

Donde: P es la proporción de organismos maduros por intervalo de tallas; a y b son parámetros del modelo. Una vez obtenido el ajuste se procedió a calcular la talla promedio de primera madurez ($Lm50\%$):

$$Lm50\% = \frac{a}{b}$$

RESULTADOS

El número de organismos recolectados fluctuó entre 326 para el crucero de noviembre de 1997, a 1,589 en el crucero de junio de 2002. Durante octubre de 2008 se capturó

el organismo con la menor talla (16 cm LM), mientras que la mayor talla se encontró en febrero de 2003 (96 cm LM). La talla promedio para los cruceros osciló entre 35 y 64 cm de LM (cruceros de junio de 2005 y octubre de 2008,

Tabla 1. Número de estaciones de muestreo (Est), intervalo de tallas en Longitud de manto (LM) y número de individuos muestreados de *Dosidicus gigas* por crucero (*n*).

Table 1. Number of stations (Est), size interval at Mantle length (LM), and number of squids (*Dosidicus gigas*) sampled per cruise (*n*).

Crucero	Est	LM (cm)			<i>n</i>
		Mín	Máx	Media	
Noviembre 1997	37	24	88	64.8	326
Junio 2002	47	20	94	48.7	1589
Febrero 2003	54	18	96	61	1116
Junio 2003	46	20	90	50	471
Mayo 2004	54	24	80	39.7	843
Junio 2005	50	22	90	34.6	344
Octubre 2008	52	16	80	64.5	858

respectivamente, Tabla 1).

Mediante el método multinomial se encontró un grupo modal en los cruceros de mayo 2004 (37.3 ± 2.1 cm de LM) y octubre 2008 (35.2 ± 2.3 cm de LM); en febrero 2003 y junio 2005 se detectaron dos grupos modales y en los realizados en noviembre de 1997, junio de 2002 y junio de 2003 se observaron tres grupos modales (Fig. 3).

De acuerdo a las claves edad – LM existentes para esta especie en el Golfo de California (Filauri-Valencia, 2005) se calculó que los organismos de la primera cohorte estimada (entre 29.4 y 37.3 cm de LM) para todos los cruceros, excepto junio de 2005, podrían tener una edad aproximada de entre 5 y 7 meses; la segunda cohorte (54.4 a 63 cm de LM) para todos los cruceros, excepto mayo de 2004 y octubre de 2008, correspondería a organismos de entre 9 y 10 meses de edad; y, finalmente, el tercer grupo modal encontrado (70.6 a 78.6 cm de LM) en los cruceros de noviembre de 1997, junio de 2002, junio de 2003 y junio de 2005 podría tratarse de organismos de entre 12 y 13 meses de edad (Tabla 2).

Los calamares en estado juvenil (fases I a III) fueron los más abundantes en la mayoría de los meses muestreados, por ejemplo, durante los cruceros de junio de 2003 y mayo de 2004 se capturaron más del 50 % de los organismos

en etapa juvenil. La proporción de individuos juveniles bajó considerablemente durante el crucero de noviembre de 1997, incrementándose de manera importante la proporción de organismos con actividad reproductiva (57 %). Durante los cruceros de febrero de 2003 y octubre de 2008, el porcentaje de calamares activos reproductivamente se incrementó sin alcanzar a ser la mayoría en la muestra total (40 %). La mayor cantidad de organismos desovados se capturaron en noviembre de 1997 y octubre de 2008 (Fig. 4).

Las tallas promedio de primera madurez del calamar gigante por sexos indican que, en general, las hembras maduran a tallas más grandes que los machos, sin embargo no se encontraron diferencias significativas entre las tallas promedio de madurez por sexo (ANDEVA, $F_{1,12} = 0.4$, $P = 0.50$). Durante los cruceros de mayo de 2004 y junio de 2005 se estimaron las tallas promedio de primera madurez para el calamar más pequeñas, por debajo de los 40 cm de LM para ambos sexos, mientras que las tallas de madurez más altas fueron calculadas en el crucero de junio de 2003, por encima de los 70 cm de LM (Fig. 5).

DISCUSIÓN

A pesar de que el número de estaciones y la ubicación de estas entre los diferentes cruceros varió, se considera que fue posible obtener una aproximación adecuada de las características de la estructura poblacional del calamar gigante, tomando en cuenta para el diseño de dichos cruceros que es un recurso en constante movimiento y su distribución pudiera cambiar durante el año (Klett, 1996)

En el presente estudio se observaron hasta tres grupos modales en un mismo crucero, los cuales se interpretan como diferentes cohortes, aunque también se encontró que el número de cohortes dentro del Golfo de California aparentemente no es constante, ya que se presentaron variaciones entre cruceros. El rango de tallas capturado en el presente trabajo fue mayor que el reportado en la captura de la pesca comercial (Díaz Uribe *et al.*, 2006; Bazzino *et al.*, 2007) y similar al registrado por Hernández-Herrera *et al.* (1996). Lo anterior sugiere que la selectividad del arte de pesca usado en las zonas de Santa Rosalía y Guaymas, posiblemente no permita tener una buena representación del total de tallas disponibles en otras regiones del Golfo.

El número de cohortes existentes dentro del Golfo de California es incierto y, de acuerdo a los esquemas de manejo usados para la pesquería de calamar gigante, la variación

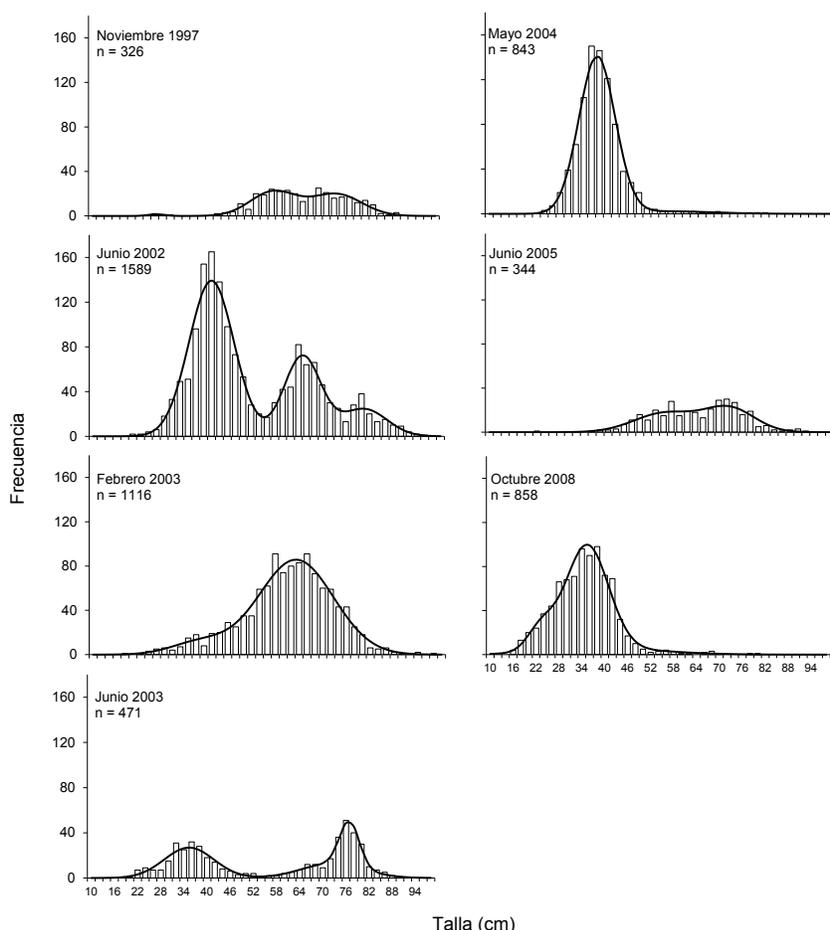


Figura 3. Distribución de tallas (LM, cm) y grupos modales de *Dosidicus gigas* por crucero en el Golfo de California

Figure 3. Size distributions (LM, cm) and modal groups of *Dosidicus gigas* per cruise in the Gulf of California, México

en el número de cohortes puede aumentar o disminuir la biomasa disponible estimada para su extracción; Hernández-Herrera *et al.* (1998) reportaron un importante reclutamiento a la pesquería de organismos menores a 40 cm de LM durante el mes de mayo. En el presente trabajo, los cruceros realizados durante los meses de mayo – junio presentaron de manera consistente una cohorte con tallas promedio desde 35.2 a 37.3 cm de LM que de acuerdo a lo reportado anteriormente se podría suponer que son organismos recién reclutados a la pesquería. En algunos años (junio de 2002, junio de 2003 y mayo de 2004) esta cohorte estuvo acompañada de una o dos cohortes más de mayor talla que incrementa la biomasa disponible, aunque la cohorte de mayor talla fue la menos consistente debido posiblemente a problemas de alta mortalidad y migración.

De acuerdo a las edades estimadas, tentativamente existirían dos amplios periodos de

eclosión; posiblemente el primero ocurre desde abril a agosto y el segundo de octubre a febrero. Filauri-Valencia (2005) detectó posibles periodos de nacimiento de octubre a marzo y de abril a agosto que concuerdan con los mayores porcentajes de organismos con actividad reproductiva (fases IV a VI) y que se encontraron durante los cruceros de noviembre de 1997 (57 %), febrero de 2003 (40 %) y octubre de 2008 (40 %), lo cual sugiere que durante este periodo se lleva a cabo el desove más importante del año, que coincide con uno de los periodos de nacimiento (octubre – febrero); sin embargo, el periodo de eclosión de abril – agosto también mostró consistencia en todos los cruceros de investigación, excepto en mayo de 2004, pero este periodo no se reflejó en el porcentaje de organismos con actividad reproductiva en los cruceros de junio, lo que sugiere que posiblemente este desove se lleve a cabo en espacio o tiempos no contemplados en el presente estudio.

Tabla 2. Grupos modales estimados para el calamar gigante *Dosidicus gigas* en Golfo de California, México mediante la técnica de distribución multinomial (longitud de manto promedio \pm desviación estándar en cm) y periodos de eclosión. *t* = edad en meses y *n* = número de calamares por cohorte.

Table 2. Modal groups estimate for jumbo squid *Dosidicus gigas* in the Gulf of California, Mexico by mean of the multinomial distribution technique (mean mantle length \pm standard deviation cm) and birth periods. *t* = age in months and *n* = number of squids by cohort.

Crucero	Grupos modales (cm) Periodos de eclosión		
	<i>t</i> = 5 – 7	<i>t</i> = 9 – 10	<i>t</i> = 12 – 13
Noviembre de 1997	26.4 \pm 1.4 abril – agosto <i>n</i> = 4	55.1 \pm 2.3 octubre – febrero <i>n</i> = 167	70.9 \pm 2.7 octubre – febrero <i>n</i> = 165
Junio de 2002	39.9 \pm 2.3 octubre – febrero <i>n</i> = 990	63 \pm 2.1 abril – agosto <i>n</i> = 446	78.6 \pm 2.4 abril – agosto <i>n</i> = 153
Febrero de 2003	37 \pm 2.6 abril – agosto <i>n</i> = 68	61.2 \pm 3 abril – agosto <i>n</i> = 1048	
Junio de 2003	35.3 \pm 2.5 octubre – febrero <i>n</i> = 219	72.5 \pm 8 abril – agosto <i>n</i> = 44	76.8 \pm 1.5 abril – agosto <i>n</i> = 208
Mayo de 2004	37.3 \pm 2.1 octubre – febrero <i>n</i> = 843		
Junio de 2005		54.4 \pm 2.5 abril – agosto <i>n</i> = 151	70.6 \pm 2.8 abril – agosto <i>n</i> = 193
Octubre de 2008	35.2 \pm 2.3 abril – agosto <i>n</i> = 858		

La talla promedio de primera madurez depende de diversos factores ambientales como la disponibilidad de alimento y/o temperatura (Ehrhardt, 1991). En el presente estudio se observó que los machos alcanzan la madurez a tallas más pequeñas que las hembras en todos los cruceros, aunque no se encontraron diferencias significativas entre estas tallas, lo cual parece ser común para esta especie tal y como lo han reportado Ehrhardt (1991), Markaida *et al.* (2004), Filauri-Valencia (2005) y Bazzino *et al.* (2007) para el Golfo de California. Aunque autores como Díaz-Urbe *et al.* (2006) sugirieron que la poca variabilidad en la talla de madu-

rez podría ser un indicativo de que la población de calamar gigante se encuentra estable, en el presente estudio se observó una clara disminución en dicha talla durante los cruceros de mayo de 2004 y junio de 2005; dicha variabilidad también fue observada por Markaida (2006) aunque para mayo de 2004 la talla promedio de primera madurez pudo estar influenciada por la abundancia de organismos de tallas pequeñas capturados durante el crucero.

En el presente estudio se observó que los machos alcanzan la madurez a tallas promedio más pequeñas que las hembras aunque estas diferencias no fueron significativas; este tipo de

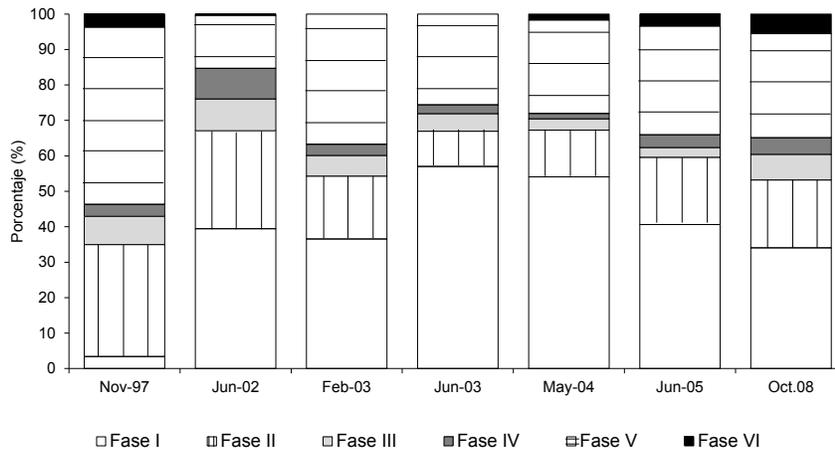


Figura 4. Proporción de calamares (*Dosidicus gigas*) de acuerdo a su estado reproductivo.
Figure 4. Proportion of squids (*Dosidicus gigas*) according to their reproduction status

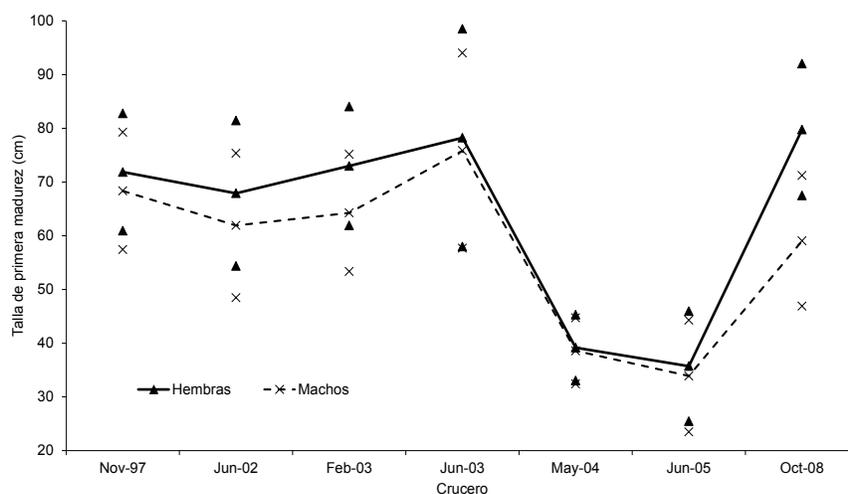


Figura 5. Talla de primera madurez promedio en hembras y machos por crucero en el Golfo de California. x = Desviación estándar de machos; ▲ = desviación estándar de hembras.

Figure 5. Mean size at maturity in females and males per research cruise in the Gulf of California. x = standard deviation of males; ▲ = standard deviation of females.

variaciones entre sexos han sido observadas para otras especies de calamares; por ejemplo, en *Loligo sanpaulensis*, Pineda *et al.* (1998) reportaron que los machos ganan talla a medida de que avanza su maduración gonadal, mientras que en las hembras el proceso de madurez es lento y a cierta talla su tasa de crecimiento disminuye, favoreciendo el desarrollo de las gónadas para la reproducción. De la misma manera, Barragán (1977) encontró que en las costas de Colombia los machos del calamar *Lolliguncula panamensis* maduran a tallas más pequeñas que las hembras.

El presente trabajo permitió observar que, aun cuando puede haber desoves o nacimientos a lo largo del año, existen dos periodos muy marcados de eclosión de paralarvas (abril – agosto y octubre – febrero) y ambos periodos son importante para la población del Golfo de California, lo cual pudiera tener una relación directa con la producción de la temporada de pesca en la zona.

Finalmente, el número de cohortes en el Golfo de California presenta variación interanual, lo cual sugiere la necesidad de un monitoreo constante del recurso para controlar de mejor manera la pesquería y obtener una adecuada estimación de la biomasa disponible para su extracción; esta, relacionada con los esquemas de manejo utilizados actualmente, como limitar el número de permisos y el escape proporcional (40%) sobre la biomasa disponible.

AGRADECIMIENTOS

El primer autor agradece a CONACyT y PIFI-IPN las becas otorgadas. Al Instituto Na-

cional de Pesca (INAPESCA) por la facilitación de la información para la realización de este trabajo. El tercer autor es becario COFAA y EDI – IPN.

REFERENCIAS

- Aguirre-Villaseñor, H., H.E. Morales-Bojórquez, R.E. Morán-Angulo, J. Madrid-Vera & M.C. Valdéz-Pineda. 2006. Biological indicators for the Pacific sierra (*Scomberomorus sierra*) fishery in the southern Gulf of California, Mexico. *Cienc. Mar.* 32(3): 471-484.
- Anónimo. 2008. *Anuario estadístico de acuicultura y pesca 2008*. Comisión Nacional de Acuicultura y Pesca. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación, México. www.conapesca.sagarpa.gob.mx
- Barragán, V.J. 1977. Estudio de la maduración sexual del calamar del Pacífico Colombiano, *Lolliguncula panamensis*, Berry (Cephalopoda: Myopsida). *Div. Pesq.* 10: 1-7.
- Bazzino, G., C. Salinas-Zavala & U. Markaida. 2007. Variabilidad en la estructura poblacional del calamar gigante (*Dosidicus gigas*) en Santa Rosalía, región central del Golfo de California. *Cienc. Mar.* 33(2): 173-186.
- Díaz-Uribe, J.G., A. Hernández-Herrera, E. M. Morales-Bojórquez, S. Martínez-Aguilar, M. C. Suárez-Higuera & A. Hernández-López. 2006. Validación histológica de los estadios de madurez gonádica de las hembras de calamar gigante (*Dosidicus gigas*) en el Golfo de California, México. *Cienc. Mar.* 32(1A): 23-31.

- Ehrhardt, N.M., P.S. Jacquemin, F. García, G. González, J.M. López, J. Ortiz & A. Solís. 1983. On the fishery and biology of the giant squid *Dosidicus gigas* in the Gulf of California, Mexico. In: Caddy, J. F. (Ed). Advances in Assessment in of World Cephalopod Resources. *FAO Fish. Tech. Pap.* 231: 306-340.
- Ehrhardt, N.M. 1991. Potential impact of a seasonal migratory jumbo squid *Dosidicus gigas* stock on a Gulf of California sardine (*Sardinops sagax caerulea*) population. *Bull. Mar. Sci.* 49 (1/2), 325–332.
- Filauri-Valencia, N. 2005. *Patrón de crecimiento y estructura poblacional del calamar gigante (Dosidicus gigas, Orbigny 1835) en la región central del Golfo de California*. Tesis de Maestría. Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, Universidad Nacional Autónoma de México, Mazatlán, México. 59 p.
- Fournier, D., J. Siber, J. Majkowski & J. Hampton. 1990. MULTIFAN, a likelihood-based method for estimating growth parameters and age composition from multiple length frequency data sets illustrated by using data for southern bluefin tuna (*Thunnus maccoyii*). *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 47: 301–317.
- Haddon, M. 2001. *Modelling and Quantitative Methods in Fisheries*. Chapman & Hall, Boca Raton, 406 p.
- Hernández-Herrera, A., E.M. Morales-Bojórquez, M.A. Cisneros Mata, M.O. Nevárez Martínez & G.I. Rivera Parra. 1998. Management strategy for the giant squid (*Dosidicus gigas*) in the Gulf of California, Mexico. *CalCOFI Rep.* 39: 212-218.
- Hernández Herrera, A., E.M. Morales Bojórquez, M.O. Nevárez Martínez, A. Balmori & G.I. Rivera Parra. 1996. Distribución de tallas y aspectos reproductivos del calamar gigante (*Dosidicus gigas*, D'Orbigny, 1835) en el Golfo de California, México. *Ciencia Pesquera* 12: 85-89.
- Lipinski, M.R. & L.G. Underhill. 1995. Sexual maturation in squid: Quantum or continuum?. *S. Afr. J. Mar. Sci.* 15: 207–223.
- Markaida, U.C. Quiñones-Velázquez & O. Sosa-Nishisaki. 2004. Age, growth and maturation of jumbo squid *Dosidicus gigas* (Cephalopoda: Ommastrephidae) from the Gulf of California, Mexico. *Fish. Res.* 66: 31-47.
- Markaida, U. 2006. Population structure and reproductive biology of jumbo squid *Dosidicus gigas* from the Gulf of California after the 1997–1998 El Niño event. *Fish. Res.* 79(1–2): 28–37.
- Morales-Bojórquez, E.M., A. Hernández-Herrera, M.O. Nevárez-Martínez, A. Díaz de León, G.I. Rivera Parra & A. Ramos. 1997. Abundancia poblacional del calamar gigante (*Dosidicus gigas*) en las costas de Sonora, México. *Oceánides* 12(2): 89-95.
- Morales-Bojórquez, E.M., S. Martínez-Aguilar, F. Arreguín-Sánchez & M.O. Nevárez-Martínez. 2001. Estimations of catchability at length for the jumbo squid (*Dosidicus gigas*) fishery in the Gulf of California. *CalCOFI Rep.* 42: 167-171.
- Nevárez-Martínez, M. O. & E.M. Morales-Bojórquez. 1997. El escape proporcional y el uso del punto de referencia biológico $F_{\%BR}$ para la explotación del calamar gigante, *Dosidicus gigas*, del Golfo de California, México. *Oceánides* 12(2): 97-105.
- Nevárez-Martínez M.O., A. Hernández-Herrera, E. Morales-Bojórquez, A. Balmori-Ramírez, M.A. Cisneros-Mata & R. Morales-Azpeitia. 2000. Biomass and distribution of the jumbo squid (*Dosidicus gigas*; d'Orbigny, 1835) in the Gulf of California, Mexico. *Fish. Res.* 49, 129–140.
- Nigmatullin, Ch.M., K.N. Nesis & A.I. Arkhipkin. 2001. A review of the biology of the jumbo squid *Dosidicus gigas* (Cephalopoda: Ommastrephidae). *Fish. Res.* 54: 9-19
- Pineda, S.E., N.E. Brunetti & N.A. Scarlato. 1998. *Calamares loliginidos* (Cephalopoda, Loliginidae). 13-36, In: E. E. Boschi (ed.). Los moluscos de interés pesquero. Cultivos y estrategias reproductivas de Bivalvos y Equinodermos. Instituto Nacional de Investigación y Desarrollo Pesquero. Argentina, 195p.
- SAGARPA, 2006. Calamar gigante. Carta Nacional Pesquera. Diario Oficial de la Federación. D.O.F. 06/08/25.
- Sparre, P. & S.C. Venema. 1997. *Introduction to tropical fish stock assessment*. Manual. Food and Agricultural Organization of the United Nations. Part 1. FAO Fish. Tech. Paper. Rome, Italy.
- Taipé, A.C., Yamashiro, L. Mariastegui, P. Rojas & C. Roque. 2001. Distribution and concentrations of jumbo flying squid (*Dosidicus gigas*) off the Peruvian coast between 1991 and 1999. *Fish. Res.* 54: 21-32

1 **Distribution of jumbo squid *Dosidicus gigas* in the Gulf of California, Mexico**

2 JOSÉ IVÁN VELÁZQUEZ-ABUNADER^{1*}, MANUEL OTILIO NEVÁREZ-

3 MARTÍNEZ², AGUSTÍN HERNÁNDEZ-HERRERA¹ & HÉCTOR VILLALOBOS¹

4 ¹Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas, Instituto Politécnico Nacional. Av. I.P.N.
5 s/n Colonia Playa Palo de Santa Rita, La Paz, B.C.S. 23096, Mexico.

6 ²Instituto Nacional de la Pesca, CRIP Guaymas, Calle 20 Sur 605, Guaymas, Sonora,
7 85400, Mexico

8 E-mails authors: jvelazqueza@ipn.mx; manuel.nevarez@prodigy.net.mx;

9 aherrera@ipn.mx; hvillalo@ipn.mx

10 Short title: Distribution of *Dosidicus gigas* in Gulf of California

11

12

13 **Abstract**

14 We determined the distribution, sex, maturity, and size relationship of jumbo squid
15 *Dosidicus gigas* in the Gulf of California to understand their behavior. Five cruises (June
16 2002, February 2003, June 2003, May 2004, and June 2005), with an average duration of
17 13 days and a mean of 50 samples per cruise provided the data. Their distribution is
18 displayed with maps. Their distribution indicates that the highest concentrations were in the
19 eastern part of the gulf in February and in the western part of the gulf during June. Fewer
20 males were caught than females during all cruises and reproductively active squid were
21 much more common in the central and eastern parts of the gulf during all cruises. Squid
22 under 30 cm mantle length were found in the southern part of the gulf with important
23 concentrations in the central region of the gulf at some distance from the coasts and the
24 western part of the gulf. These results will support attempts to determine population
25 parameters to regulate this fishery.

26 Key words: jumbo squid, surveys, distribution, Gulf of California

27

28 **Introduction**

29 The Gulf of California, along with coastal Peru, is one of the two most important fishery
30 areas of jumbo squid *Dosidicus gigas* (D'Orbigny, 1835) (Taipé et al., 2001). Since 2000,
31 catches in the central region of the Gulf of California have remained >50,000 t. In 2002 and
32 2004 catches were ~87,000 t (SAGARPA, 2005). A fluctuation in catches have been
33 observed since the 1980s and is mainly attributed to changes caused by adverse
34 environmental conditions, such as El Niño events (Klett, 1996) that affect their food supply
35 (Nevárez-Martínez et al., 2002). This seems likely because jumbo squid are caught outside
36 the gulf, where they are not common except during the periodic events (Rodhouse, 2001).

37 Within the gulf, the main landing locations are Santa Rosalia in the State of Baja
38 California Sur and Guaymas in the State of Sonora. Abundance varies annually (Morales-
39 Bojórquez et al., 2001a). Nevárez-Martínez et al. (2006) reports that landings at Guaymas
40 are high variability in mean abundance and biological parameters of cohorts; Bazzino et al.
41 (2007) reported that landings at Santa Rosalia were different in size structure and sexual
42 maturity in 2003 and 2004.

43 One hypothesis about migration and distribution of jumbo squid in the Gulf of
44 California is that seasonal movement in and out of the Gulf is tied to foods requirements
45 (Ehrhardt, 1991; Klett, 1996). Migration begins in January and the squid reach their most
46 northerly position in April. During migration there appears to be differences in the routes of
47 juveniles and adults; juveniles and immature adults migrate along the coast and adults
48 occupy the central and deep zones in the Gulf of California during April (Morales-
49 Bojórquez et al., 2001b). Markaida et al. (2005) states that the squid moves from Santa

50 Rosalia to Guaymas from late November through early December and reverses movement
51 in late May through early June. This pattern is a response to food supply (Markaida and
52 Sosa-Nishisaki, 2001). The migration patterns have been suggested based on information
53 on the performance of the fishery on both coasts of the Gulf and through tagging studies but
54 it is unknown whether such migration is performed by the total population of squid or just a
55 portion.

56 Distribution analyses of data from the jumbo squid fishery in the Gulf of California
57 are limited to restricted areas and by selectivity of the fishers. To overcome these
58 deficiencies, our research cruises carry out during the months which detects the recruitment
59 of the cohort that supports the fishery in the Gulf (June 2002, June 2003, May 2004 y June
60 2005) (Hernández-Herrera et al., 1998) and a cruise in cold season (February 2003) to
61 analyze spatial distribution of jumbo squid in relation to sex, reproductive maturity, and
62 size to understand distribution patterns in the study area.

63

64 **Materials and methods**

65 Research cruises were conducted in the central region Gulf of California in June 2002,
66 February 2003, June 2003, May 2004, and June 2005. On average, each cruise lasted 13
67 days. The number of collections on each cruise ranged from 47 to 54 (Fig. 1a). At each
68 Fishing station, jigs of different colors with six rings of barbless hooks (3.175 cm
69 maximum diameter) attached to hand-held lines, and light as an attractant were used. The
70 lighting began 10 ± 20 min before the fishing operation, which varied from 14 to 62 min
71 (more details at Nevárez-Martínez et al. 2000).

72 During each collection, total catch in kilograms and number of squid were recorded.
73 Additionally, when possible, samples of ~100 squids were used to record mantle length
74 (ML) with a subsample of ~30% of the squid to record sex and stage of reproductive
75 maturity. Maturity of the gonads were classified according to the morpho-chromatic scale
76 described by Lipinski and Underhill (1995): 1 (Juvenile), 2 (Immature), 3 (Preparatory), 4
77 (Mature), 5 (Ripe), and 6 (Spawned). For practical purposes, squid were divided into two
78 groups: immature (stages 1–3) and mature (stages 4–6) (Diaz-Uribe et al., 2006). Results on
79 sex, maturity, and size from the samples were then extrapolated to the total catch at each
80 sampling site. Distribution maps of catches by weight, sex, reproductive maturity, and size
81 were made, using the *R* computer program (Development Core Team, 2004).

82 **Results**

83 *Distribution by catch*

84 The catch per sampling ranged from 21 kg in June 2005 to 162 kg in February 2003 (Table
85 1). During the June 2002, June 2003, and June 2005 cruises, the highest concentrations of
86 squid are located on the west side of the Gulf of California, with catches >500 kg in the
87 central and northern areas. In the June 2005 cruise, the largest concentrations were found in
88 the central gulf between Santa Rosalia and Guaymas. In February 2003, squid were more
89 prevalent on the eastern side of the gulf in the southern and northern of the gulf. In May
90 2004, the largest concentrations occurred on both sides of the gulf in the central and
91 northern regions (Fig. 1b).

92

93 *Distribution by sex*

94 On all cruises, the sex ratio was statistically different from 1:1 (χ^2 test, $p < 0.05$). Females
95 were more common except for June 2002, when males were more common (Fig. 2a). Males
96 were more common between 26° to 28° N; females, often in high concentrations exceeding
97 50 individuals, were common between 25.5° to 28° N (Fig. 3a and b).

98 *Distribution by maturity*

99 Immature squid outnumbered mature squid (average 64.30%, SD = 13.30%) except during
100 June 2002, when mature squid composed 57% of the catch (Fig. 2b). Immature squid were
101 more prevalent on the western side of the gulf, except the February 2003 and May 2004
102 cruises. In February 2003, immature squid was skewed towards the east side of the gulf and
103 in two squid lines covering of immature squid along the east side between 27° and 28 ° N
104 (Fig. 4a).

105 Mature squid were more common between 26° and 28 ° N with higher abundance in
106 the central and eastern parts of the gulf. Only during the June 2002 and June 2003 cruises
107 were mature squids active near the western side of the gulf between 26° and 27°N (Fig. 4b).

108 *Distribution by size*

109 Squid under 30 cm ML were less abundant than larger squid; on all cruises, the percentage
110 of squid longer than 30 cm ML was more than 67% (Fig. 2c). The smaller squid were, in
111 most cases, found in the central open gulf, away from both coasts and usually concentrated
112 in the southern part between 25° and 26°N. Only during the June 2002 and June 2003
113 cruises were small squid found near the western side of the gulf near Santa Rosalia,

114 between 27° and 28°N (Fig. 5a). The larger squid had a wide distribution and were, in
115 general found on both sides of the gulf and the central gulf (Fig. 5b).

116 **Discussion**

117 During the June 2002, 2003, and 2005 cruises, the highest concentrations of squid were
118 found mainly from 26° to 28°N from the central to western side of the gulf. On the
119 February 2003 cruise, the highest concentrations were near the eastern side of the gulf
120 between 25° and 28°N. Migrations of jumbo squid on a seasonal basis are reflected in the
121 location of fishing activity. From November through May, fishing concentrates along the
122 coast at Guaymas, Sonora; from May through October fishing concentrates along the
123 eastern coast of the Baja California Peninsula at Santa Rosalia, Baja California Sur.
124 (Markaida et al., 2005). Targeted studies demonstrate that jumbo squid migrate eastward
125 from Santa Rosalia to Guaymas in November and migrate westward in May (Gilly et al.,
126 2006). Nevárez-Martinez et al. (2000) found high abundance in May 1996 from the eastern
127 side to the western side between 27° and 28.3°N, which was very close to our May 2004
128 cruise, when the east-west line occurred between 27° and 28°N.

129 The lower abundance and restricted distribution of jumbo squid in June 2003 is
130 most likely linked to the moderate El Niño of 2002 to 2003 (McPhaden 2004; Bazzino et
131 al., 2007), similar to the restricted distribution and lower abundance of several species
132 during El Niño event 1997–1998 (Lluch-Cota et al., 1999; Nevárez-Martínez et al., 2002).

133 With the exception of June 2002, when males prevailed over females by 2.55 to 1,
134 females were more common during this study. This imbalance in the gulf has been reported
135 in several studies (Hernández-Herrera et al., 1996; Markaida and Sosa-Nishizaki, 2001;

136 Markaida and Sosa-Nishizaki, 2003; and Bazzino et al., 2007). The preponderance of
137 females suggests that males mate with multiple females (Hernández-Herrera et al., 1996).

138 There are no previous surveys that describe the distribution by sex of jumbo squid
139 in the gulf. We found high concentrations of males between 26° and 28°N with the highest
140 abundances between 27° and 28°N. Females were more common from 25.5° to 28°N, with
141 highest abundances mainly between 26° and 28°N.

142 Reproductively mature squid were most common in the central open part of the gulf
143 and to the east with the exception of June 2002 and June 2003, when mature squid were
144 more common on the west side of the gulf. Our results are consistent with Hernández-
145 Herrera et al. (1998).

146 In all surveys, mature squid were south of 28° N. Gilly et al. (2006) report that
147 abundant concentrations of paralarvae occur in the gulf above the San Pedro Martir Basin
148 (~28° 3' N), which they suggest is a spawning area which occurs at a time not in our any of
149 our surveys. Morales-Bojórquez et al. (2001b) report that squid reach their most northerly
150 position of ~29°N in April.

151 Markaida and Sosa-Nishizaki (2001) found low incidence of reproductively active
152 squid in the Santa Rosalia during fishing season, they proposes most likely used by squid as
153 a feeding area rather than a breeding area, which is similar to our findings. For the February
154 2003 survey, reproductively active squid were present on the eastern side of the gulf.

155 Jumbo squids <30 cm ML were less abundant in all catches because they were less
156 likely to be caught in our fishing gear. When captured, small squid were more common in

157 the southern and central part of the open gulf, especially above the Farallon Basin (~25° 1'
158 N, 109° 9' W) and Carmen Basin (~26° 3' N, 110° 5' W). Also, except for the June 2003
159 survey, small squid were in greater abundance above the Guaymas Basin (~27° N, 112°
160 W). Only in June 2003 and June 2005 were small squid present near Santa Rosalia
161 According to Ehrhardt et al. (1983) during winter and spring there are large concentrations
162 of small squid (20–40 cm ML) in the vicinity of the Guaymas Basin and extend westward
163 near Santa Rosalia; during summer and autumn, the highest abundance of <30 cm ML
164 squid were in the central part near the mouth of the gulf.

165 Morales-Bojórquez et al. (2001b) state that, from May through August, the main
166 stock is in the northern part of the central gulf, but segregated by and size. Between 26° and
167 28°N, adults are found within ~17 km of the coast and subadults are found beyond 17 km.
168 We captured small squid during the June 2002 and June 2003 surveys within 17 km of the
169 coast of the Baja California Peninsula and in the southern part of the gulf north of 25°N.

170 Concentrations of large, mature jumbo squid were more common in coastal waters
171 north of ~26°N, similar to findings of Morales-Bojórquez et al. (2001b), but also in the
172 central gulf, as in the surveys of June 2002 and June 2005, February 2003, and May 2004.

173 Jumbo squid in the Gulf of California have spatial and seasonal variations, and are
174 consistent with previous studies that suggest a pattern of migration in the Gulf, however
175 consistency not found in the distribution of squid in the same month in different years. In
176 the same way, marked differences in distribution by sex, maturity, and size were found.
177 Knowledge of differences in population should lead to better fishery management and focus
178 future studies in the Gulf region to determine specific areas and breeding seasons.

179 **Acknowledgments**

180 We thank the crew of the R/V BIP XI of the Instituto Nacional de Pesca (INAPESCA) for
181 their cooperation and assistance in collecting data. J.I.V.A. is a recipient of CONACyT and
182 IPN PIFI student fellowships. A.H.H. and H.V.O. received support from COFAA-IPN.
183 A.H.H. is an EDI-IPN fellow.

184 **References**

- 185 Bazzino G, Salinas-Zavala C, Markaida, U. 2007. Variabilidad en la estructura poblacional
186 del calamar gigante (*Dosidicus gigas*) en Santa Rosalía, región central del Golfo de
187 California. *Ciencias Marinas* 33:173–186.
- 188
- 189 Díaz-Uribe JG, Hernández-Herrera A, Morales-Bojórquez E, Martínez-Aguilar S, Suárez-
190 Higuera MC, Hernández-López A. 2006. Validación histológica de los estadios de madurez
191 gonádica de las hembras de calamar gigante (*Dosidicus gigas*) en el Golfo de California,
192 México. *Ciencias Marinas*. 32:23–31.
- 193
- 194 Ehrhardt, N.M. 1991. Potential impact of a seasonal migratory jumbo squid *Dosidicus*
195 *gigas* stock on a Gulf of California sardine (*Sardinops sagax caerulea*) population. *B. Mar.*
196 *Sci.* 49, 325–332.
- 197
- 198 Ehrhardt NM, Jacquemin PS, García BF, González DG, López BJM, Ortíz CJ, Solís NA.
199 1983. On the fishery and biology of the giant squid *Dosidicus gigas* in the Gulf of

200 California, Mexico. In: Caddy, J.F. (Ed.), *Advances in Assessment of World Cephalopods*
201 *Resources*. FAO Fisheries Technical Paper 231, pp. 306–340.

202

203 Gilly WF, Elliger CA, Salinas CA, Camarillo-Coop S, Bazzino G, Beman M. 2006.
204 Spawning by jumbo squid (*Dosidicus gigas*) in the San Pedro Mártir Basin, Gulf of
205 California, Mexico. *Marine Ecology Progress Series* 313:125–133.

206

207 Hernández-Herrera A, Morales-Bojórquez E, Cisneros-Mata MA, Nevárez-Martínez MO,
208 Rivera-Parra GI. 1998. Management strategy for the giant squid (*Dosidicus gigas*) fishery
209 in the Gulf of California, Mexico. *CalCOFI Reports* 39:212–218.

210

211 Hernández-Herrera A, Morales-Bojórquez E, Nevárez-Martínez MO, Balmori A, Rivera-
212 Parra GI. 1996. Distribución de tallas y aspectos reproductivos del calamar gigante
213 (*Dosidicus gigas*, D’Orbigny, 1835) en el Golfo de California, México. *Ciencia Pesquera*.
214 12:85–89.

215 Klett A. 1996. Pesquería del calamar gigante. In: Casas-Valdez, M., Ponce-Díaz, G. (Eds.),
216 *Estudios del potencial pesquero y acuícola de Baja California Sur, Vol. 1*. CIBNOR-
217 CICIMAR-UABCS, pp. 127–149, 350.

218

219 Lipinski MR, Underhill, L.G. 1995. Sexual maturation in squid: Quantum or continuum?.
220 *African Journal of Marine Science* 15:207–223.

221

222 Lluch-Cota D, Lluch-Belda D, Lluch-Cota S, López-Martínez L, Nevárez-Martínez MO,
223 Ponce-Díaz G, Salinas-Zavala C, Vega-Velázquez A, Lara-Lara JR, Hammann G, Morales
224 J. 1999. Las pesquerías y el niño. In: Magaña-Rueda, V.O. (Ed.), DGPC-SG-UNAM-IAI-
225 SEP-CONACyT Mexico. Los impactos del Niño en México, pp. 137–178.
226

227 Markaida U, Rosenthal JJC, Gilly WF. 2005. Tagging studies on the jumbo squid,
228 *Dosidicus gigas*, in the Gulf of California, Mexico. Fishery Bulletin 103:219–226.
229

230 Markaida U, Sosa-Nishisaki O. 2003. Food and feeding habits of jumbo squid *Dosidicus*
231 *gigas* (Cephalopoda: Ommastrephidae) from the Gulf of California, Mexico. Fisheries
232 Research 83:507–522.
233

234 Markaida U, Sosa-Nishizaki O. 2001. Reproductive biology of jumbo squid *Dosidicus*
235 *gigas* in the Gulf of California, 1995–1997. Fisheries Research 54:63–82.
236

237 McPhaden MJ. 2004. Evolution of the 2002–2003 El Niño. Bull. Amer. Meteor. Soc. 85,
238 677–695, doi:10.1175/BAMS-85-5-677.
239

240 Morales-Bojórquez E, Hernández-Herrera A, Nevárez-Martínez MO, Cisneros-Mata MA,
241 Guerrero-Escobedo FJ. 2001a. Population size and exploitation of giant squid (*Dosidicus*
242 *gigas*, D’Orbigny, 1835) in the Gulf of California, Mexico. Scientia Marina 65:75–80.
243

244 Morales-Bojórquez E, Cisneros-Mata MA, Nevárez-Martínez MO, Hernández-Herrera A
245 2001b. Review of stock assessment and fishery biology of *Dosidicus gigas* in the Gulf of
246 California, Mexico. Fisheries Research 54:83–94.
247

248 Nevárez-Martínez MO, Hernández-Herrera A, Morales-Bojórquez E, Balmori-Ramírez A,
249 Cisneros-Mata MA, Morales-Azpeitia R. 2000. Biomass and distribution of the jumbo
250 squid (*Dosidicus gigas*; D’Orbigny, 1835) in the Gulf of California, Mexico. Fisheries
251 Research 49:129–140.
252

253 Nevárez-Martínez MO, Rivera-Parra GI, Morales-Bojórquez E, López-Martínez J, Lluch-
254 Belda DB, Miranda-Mier E, Cervantes-Valle C. 2002. The jumbo squid *Dosidicus gigas*
255 fishery of the Gulf of California and its relation to environmental variability. In: Salinas S.,
256 Urban J.H., Arntz W.E. (Eds.), Extended Abstracts of the El Niño Symposium &
257 Workshop. Investigaciones Marinas 30:193–194.
258

259 Nevárez-Martínez MO, Méndez-Tenorio FJ, Cervantes-Valle C, López-Martínez J
260 Anguiano-Carrasco ML. 2006. Growth, mortality, recruitment, and yield of the jumbo
261 squid (*Dosidicus gigas*) off Guaymas, Mexico. Fisheries Research 79:38–47
262

263 R Development Core Team. 2004. R: A Language and Environment for Statistical
264 Computing. Vienna, Austria: R Foundation for Statistical Computing, ISBN 3-900051-00-
265 3, URL: <http://www.R-project.org>
266

267 Rodhouse PG. 2001. Managing and forecasting squid fisheries in variable environments.
268 Fisheries Research 54:3–8.
269
270 SAGARPA. 2005. Anuario estadístico de acuicultura y pesca 2005. Comisión Nacional de
271 Acuicultura y Pesca. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y
272 Alimentación, Mexico City.
273
274 Taipé A, Yamashiro C, Mariastegui L, Rojas P, Roque C. 2001. Distribution and
275 concentrations of jumbo flying squid (*Dosidicus gigas*) off the Peruvian coast between
276 1991 and 1999. Fisheries Research 54:21–32.
277

278 **List of figures**

279 **Figure 1.** (a) Research cruises and sampled sites. (b) Distribution by catches of jumbo
280 squid *Dosidicus gigas* per cruise (in kg).

281 **Figure 2.** (a) Males (black bar) and Females (white bar) ratio of jumbo squid *Dosidicus*
282 *gigas* per cruise. (b) Inactives (black bar) and Actives (white bar) ratio of jumbo squid per
283 cruise. (c) >30 cm ML (white bar) and <30 cm ML (black bar) ratio of jumbo squid per
284 cruise. gray lines are 1:1 ratio.

285 **Figure 3.** (a) Distribution of Male jumbo squid *Dosidicus gigas* per cruise. (b) Distribution
286 of Female jumbo squid *Dosidicus gigas* per cruise. Values are the number of squid.

287 **Figure 4.** (a) Distribution of reproductively Inactive jumbo squid *Dosidicus gigas* per
288 cruise. (b) Distribution of reproductively Active jumbo squid per cruise. Values are number
289 of individuals.

290 **Figure 5.** (a) Distribution of >30 cm ML jumbo squid *Dosidicus gigas* per cruise. (b)
291 Distribution of <30 cm ML jumbo squid per cruise. Values are number of individuals.

292

293

294

295

296

297

298

299 **Table 1.** Survey cruises in the Gulf of California with number of sampling stations and
300 minimum and maximum catch.

Cruise	Stations	Stations without catch	Minimum catch (kg)	Maximum catch (kg)
June 2002	47	6	1	1000
February 2003	54	9	1	850
June 2003	46	30	1	1200
May 2004	54	13	1	100
June 2005	50	17	1	126.3

301

302

303

304

305

306

307

308

309

310

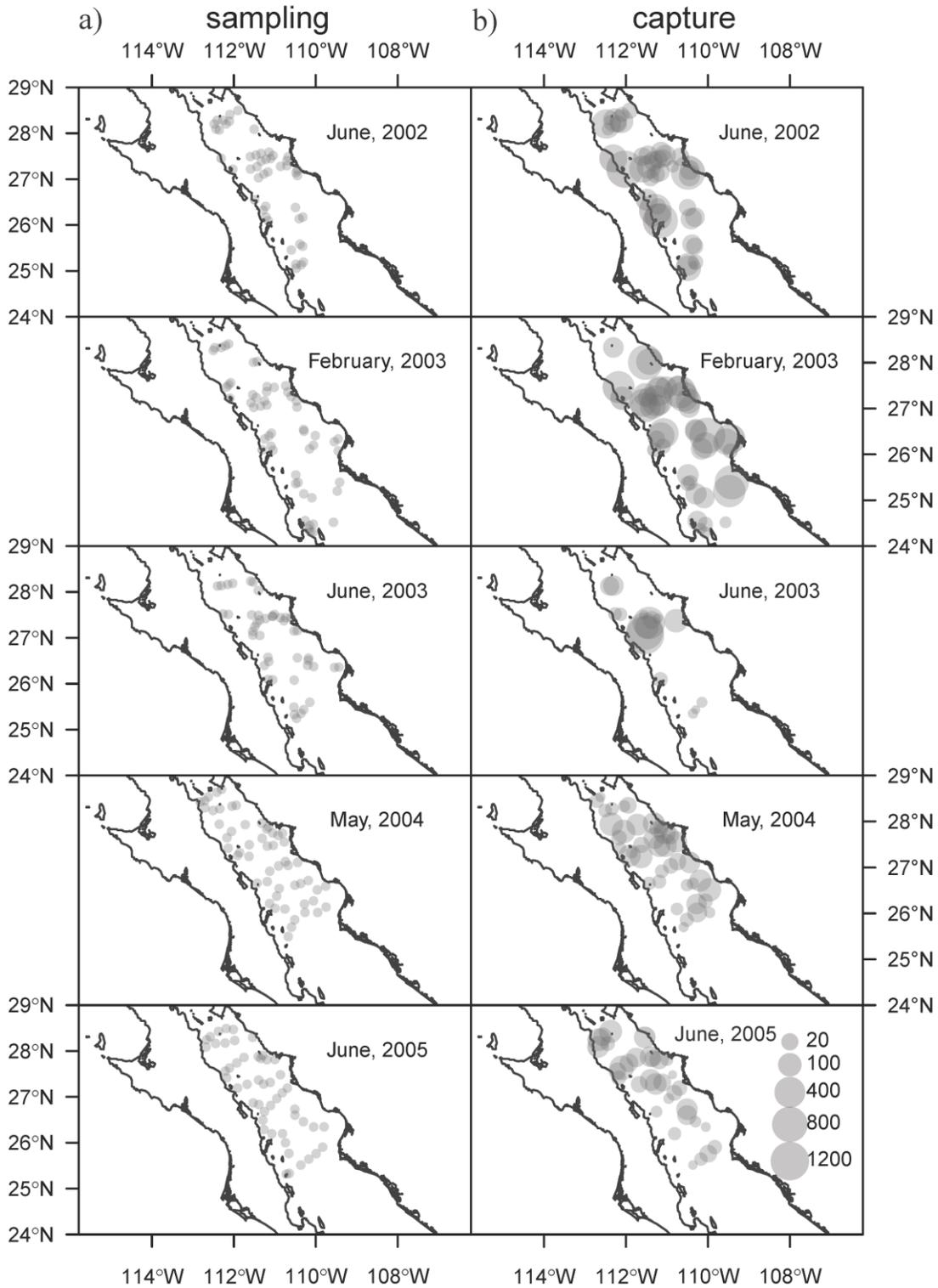
311

312

313

314

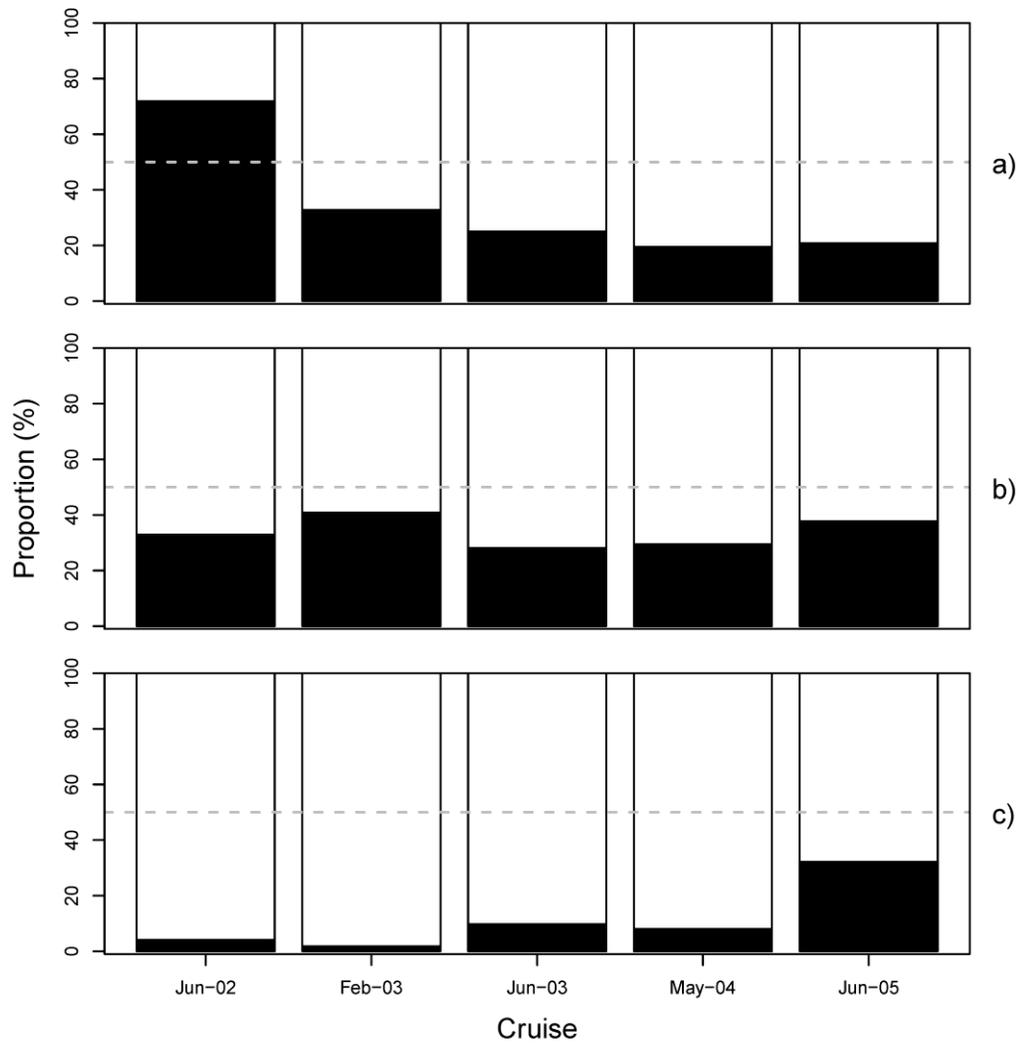
315



316

317 FIGURE 1

318



319

320 FIGURE 2

321

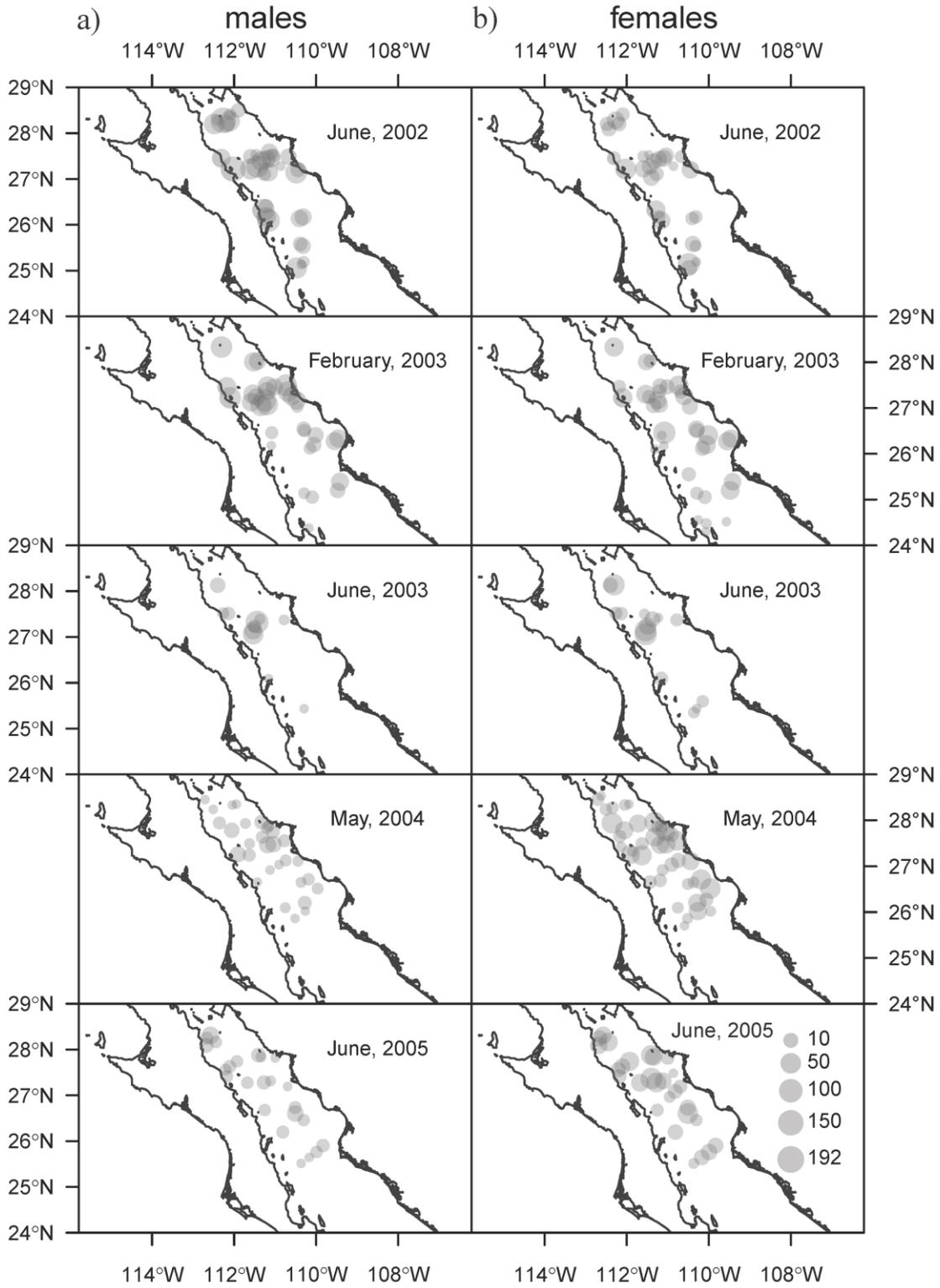
322

323

324

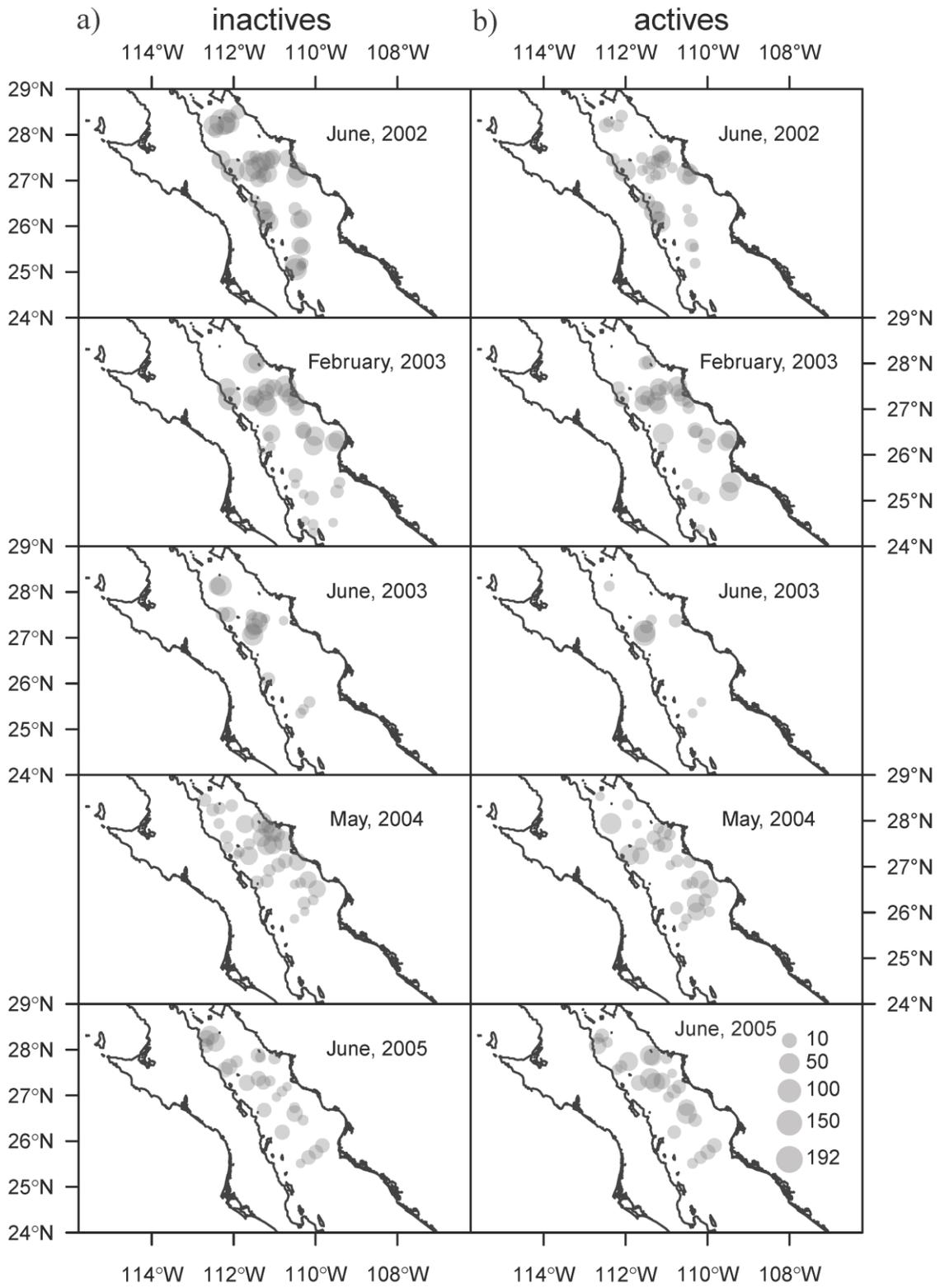
325

326



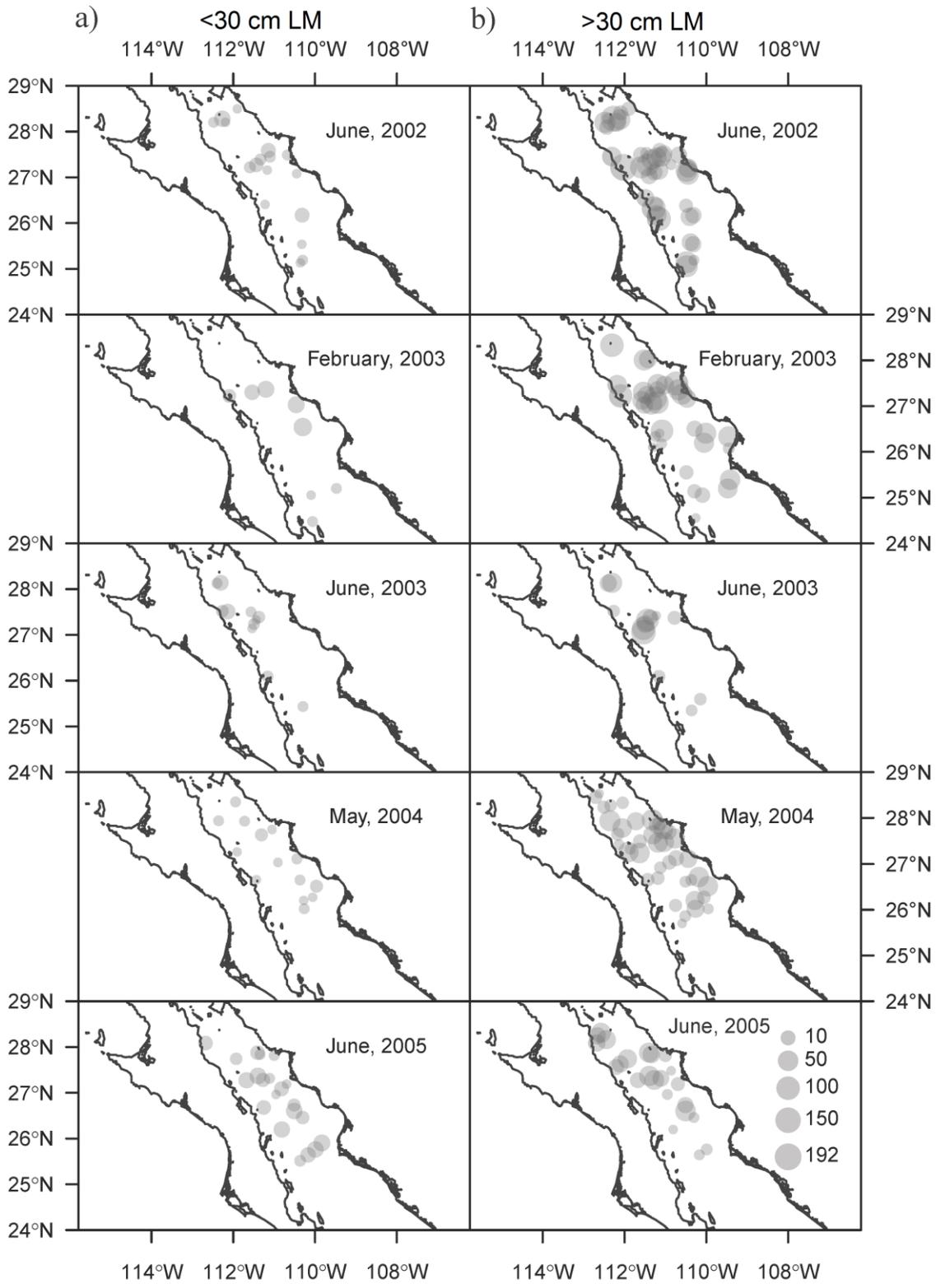
327

328 FIGURE 3



329

330 FIGURE 4



331

332 FIGURE 5