



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE CIENCIAS

Eco-detección del calamar gigante (*Dosidicus gigas*,
Cephalopoda:Ommastrephidae) en el Golfo de California asociada a
las condiciones oceanográficas durante marzo y septiembre del
2010

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

BIÓLOGA

P R E S E N T A:

Ana Laura Avilés Díaz



DIRECTOR DE TESIS: Dr. Carlos. J. Robinson Mendoza



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO

FACULTAD DE CIENCIAS
Secretaría General
División de Estudios Profesionales

Votos Aprobatorios

DR. ISIDRO ÁVILA MARTÍNEZ
Director General
Dirección General de Administración Escolar
Presente

Por este medio hacemos de su conocimiento que hemos revisado el trabajo escrito titulado:

Eco-detección del calamar gigante (*Dosidicus gigas*, Cephalopoda: Ommastrephidae) en el Golfo de California asociada a las condiciones oceanográficas durante marzo y septiembre del 2010

realizado por **Avilés Díaz Ana Laura** con número de cuenta **3-0413380-2** quien ha decidido titularse mediante la opción de tesis en la licenciatura en **Biología**. Dicho trabajo cuenta con nuestro voto aprobatorio.

Propietario Dr. Luis Medrano González

Propietario Dr. David Alberto Salas de León

Propietario Tutor Dr. Carlos Jorge Robinson Mendoza

Suplente Dr. Felipe Amezcua Linares

Suplente Dra. Patricia Illoldi Rangel

Atentamente
"POR MI RAZA HABLARÁ EL ESPÍRITU "
Ciudad Universitaria, D. F., a 15 de febrero de 2013
EL JEFE DE LA DIVISIÓN DE ESTUDIOS PROFESIONALES

ACT. MAURICIO AGUILAR GONZÁLEZ

Señor sinodal: antes de firmar este documento, solicite al estudiante que le muestre la versión digital de su trabajo y verifique que la misma incluya todas las observaciones y correcciones que usted hizo sobre el mismo.
MAG/mdm

A 11

I. Resumen

Se presenta la distribución, abundancia y biomasa de calamar gigante en el Golfo de California asociadas a las variables oceanográficas horizontales (temperatura superficial del mar TSM y clorofila-a) y verticales (temperatura, oxígeno y clorofila) durante marzo y septiembre-octubre del año 2010. Los muestreos fueron realizados a bordo del B/O "El Puma". Para la detección del calamar gigante se utilizó una ecosonda de haz dividido SIMRAD de 120 KHz. En cada una de las estaciones de muestreo donde se lanzaron poteras de diferentes tamaños para la captura de calamar. Se hicieron lances de un CTD (instrumento de medición de parámetros oceanográficos *in situ*) para registrar los valores de temperatura, clorofila- a y oxígeno disuelto a largo de la columna de agua. Los resultados indican una relación entre los blancos acústicos de calamar y valores altos de clorofila-a lo que afirma su afinidad a zonas productivas, mientras que la temperatura no fue un factor determinante en la distribución de este cefalópodo, para ambos períodos de estudio. La estimación de biomasa y abundancia acústica disminuye de marzo a septiembre-octubre de 2010, (de 32 476 a 14 974 toneladas) cuando la clorofila-a disminuyó y la temperatura aumentó. Los datos acústicos no mostraron una migración vertical evidente; en marzo se detectaron diez agregaciones acústicas de calamar, mientras que en septiembre-octubre no se registró este comportamiento. Este trabajo apoya la idea de la hidroacústica como un método alternativo para estimar la biomasa en tiempos cortos y conocer mejor la biología del calamar gigante.

Contenido

| | |
|---|-----------|
| 1. Introducción | 8 |
| 1.1 Sistemática de <i>Dosidicus gigas</i> (calamar gigante) | 9 |
| 1.2 Importancia del calamar gigante en el ecosistema pelágico..... | 10 |
| 1.3 Alimentación..... | 10 |
| 1.4 Reproducción..... | 10 |
| 1.5 Migraciones..... | 12 |
| 1.6 Distribución vertical..... | 13 |
| 1.7 La pesquería del calamar gigante..... | 14 |
| 1.7.1 La pesquería del calamar gigante en México..... | 16 |
| 1.7.2 Técnicas de pesca..... | 16 |
| 1.7.3 Comportamiento histórico de la captura de calamar gigante en México..... | 17 |
| 1.7.4 Manejo de la pesquería..... | 18 |
| 1.8 Aplicación de la hidroacústica para la evaluación de poblaciones de calamares..... | 19 |
| 1.9 Justificación..... | 20 |
| 2. Objetivo general | 20 |
| 2.1 Objetivos particulares..... | 20 |
| 3. Area de estudio | 20 |
| 4. Material y método | 24 |
| 4.1 Datos satelitales..... | 25 |
| 4.2 Perfiles verticales de temperatura, oxígeno y clorofila- a..... | 25 |
| 4.3 Equipo hidracústico utilizado..... | 26 |
| 4.4 Procedimientos para identificación acústica de los calamares..... | 27 |
| 4.5 Estimación de abundancia y biomasa instantánea..... | 28 |
| 4.6 Captura de calamares | 31 |
| 5. Resultados | 31 |
| 5.1 Datos satelitales TSM y Chl- <i>a</i> | 32 |
| 5.2 Hidroacústica..... | 36 |
| 5.2.1 Distribución horizontal..... | 36 |
| 5.2.2 Asociaciones acústicas..... | 36 |

| | |
|---|-----------|
| 5.2.3 Distribución vertical..... | 39 |
| 5.3 Distribución de ecos positivos y capturas relacionadas a variables ambientales..... | 40 |
| 5.3.1 Datos satelitales: TSM y Chl-a..... | 40 |
| 5.3.2 Perfiles verticales..... | 44 |
| 5.3.3. Distribución de los calamares capturados relacionados la TSM y Chl-a..... | 44 |
| 5.4 Frecuencia de talla, peso y estado de madurez sexual de los calamares capturados con potera | 47 |
| 5.5 Eco-integración..... | 48 |
| 5.5.1 Estimación de las áreas de distribución..... | 48 |
| 5.5.2 Frecuencias de tallas, sigma y FB estimada..... | 51 |
| 5.5.3 Estimación de abundancia y biomasa instantánea..... | 52 |
| 6. Discusión..... | 53 |
| 7. Conclusiones..... | 59 |
| 8. Referencias..... | 61 |
| Apéndice. Principios acústicos..... | 66 |

Listado de Figuras

Figura 1. Área de distribución de *Dosidicus gigas*. Tomado de Kely *et al.* 2008, los óvalos representan las principales zonas de pesca.

Figura 2. *Dosidicus gigas* esquema de la vista dorsal (FAO, 1995). La línea representa la longitud del manto dorsal (LDM).

Figura 3. Conducta de apareamiento de *Dosidicus gigas* (Tomado de Gilly *et al.* 2006).

Figura 4. a) Comportamiento histórico de la captura de calamar en México. Los datos son de todas las mares mexicanas e incluyen las especies de calamar de interés comercial, sin embargo, el 99% de las capturas corresponden al calamar gigante en la costa del Pacífico, con el 89% de desembarque en Baja California y Sonora (CONAPESCA, 2011). b) Capturas mensuales de calamar gigante en la zona de Guaymas, Sonora en 2010 (Sub-delegación Federal de Pesca en Guaymas). En ambas gráficas el área sombreada corresponde al año en el cual se realizó este estudio.

Figura 5. Señuelos para la captura de calamar gigante.

Figura 6. Capturas de calamar gigante asociadas a las anomalías de Clorofila-*a*. La línea con puntos representa las capturas mensuales de Guaymas, Sonora; las barras representan las anomalías mensuales; la línea gruesa muestra la suma parcial de las anomalías.

Figura 7. Zona de estudio y derrotero de la prospección hidroacústica: a) marzo y b) septiembre-octubre del 2010. Los círculos muestran las estaciones donde se realizó lances de CTD, los triángulos los lances de poteras.

Figura 8. Componentes y funcionamiento esquemático de una ecosonda científica.

Figura 9. Ejemplo de ecograma en tiempo real. a) distribución de frecuencias con los dB para la fuerza de blanco seleccionada. b) blancos acústicos. c) longitud del pulso. d) geoposición del ecograma, día y hora. e) las manchas azules representan blancos acústicos, la línea roja el piso oceánico.

Figura 10. Análisis de ecograma por medio del programa Sonar 4. a) ecograma analizado, en la parte inferior se muestra una tabla con los datos del análisis, b) segmento, c) celda.

Figura 11. Distribución de la temperatura superficial del mar (TSM) y clorofila -*a* (Chl-*a*) durante los dos períodos de muestreo.

Figura 12. Mapas de distribución de la TSM durante las tres semanas de muestreo para cada período: a) marzo, b) septiembre-octubre. Los círculos negros muestran los puntos donde se detectaron blancos de calamar gigante, los círculos rojos la zona donde de capturaron calamares mediante poteras.

Figura 13. Mapas de distribución de la Chl-*a* durante las tres semanas de muestreo para cada período: a) marzo, b) septiembre-octubre. Los círculos negros muestran los puntos donde se detectaron blancos de calamar gigante, los círculos rojos la zona donde de capturaron calamares mediante poteras.

Figura 14. Agrupaciones de calamar gigante durante el mes de marzo. Los óvalos muestran el patrón de distribución de los grupos.

Figura 15. Distribución vertical de los blancos acústicos de calamar gigante. a) marzo, b) septiembre-octubre.

Figura 16. Perfiles verticales en donde se detectaron calamares. La línea roja representa la temperatura, la azul el oxígeno disuelto y la línea verde la clorofila. Los rectángulos punteados señalan la profundidad a la cual se detectaron los blancos.

Figura 17. Mapas de contornos del mes de marzo: a) Datos de TSM y Chl-a registrados durante todo el derrotero, b) Ecos de calamar asociados a TSM y Chl-a.

Figura 18. Mapas de contornos del mes de septiembre-octubre: a) Datos de TSM y Chl-a registrados durante todo el derrotero, b) Ecos de calamar asociados a TSM y Chl-a.

Figura 19. Longitud de manto dorsal (LDM) de los calamares capturados, a) marzo, b) septiembre-octubre

Figura 20. Proceso de selección de las celdas de MODIS en el área de estudio.

Figura 21. Regiones definidas según los agrupamientos acústicos a través de las celdas de MODIS, a) marzo, b) septiembre-octubre.

Figura 22. Σ_{sp} estimado por región, a) marzo, b) septiembre-octubre.

Figura 23. Estimación de biomasa instantánea por región y período

Figura 24. Análisis histórico del promedio semanal de la TSM y Chl-a satelital (MODIS-Terra) de 1998 a 2012. El área sombreada muestra las semanas donde se realizó este estudio.

Figura 25. Fuerza de blanco estimada por la ecuación de Benoit-Bird et al. 2008 (rojo) y calculada por la ecosonda (negro), a) marzo, b) septiembre-octubre.

Listado de Tablas

Tabla 1. Períodos de muestreo correspondientes a la semana de análisis satelital de MODIS.

Tabla 2. Estado de madurez de hembras y machos de calamar gigante capturados durante los dos períodos de muestreo.

Tabla 3. Estimación de las áreas (km^2) y grado de cobertura (GCR) por región.

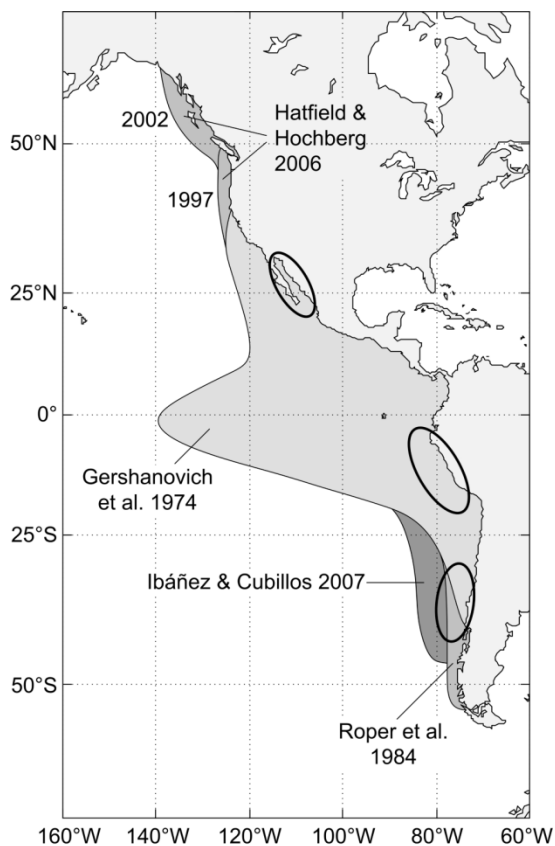
Tabla 4. Estimación de abundancia instantánea de calamar gigante

Tabla 5. Abundancia estimada (ind ha^{-1}) de las tres regiones para ambos períodos de estudio

1. Introducción

El calamar gigante, *Dosidicus gigas*, pertenece a la familia Ommastrephidae, es el cefalópodo más grande de esta familia, llega a medir hasta 1.2 m de longitud de manto (LM) con un peso de 50 Kg. Es de gran importancia ecológica y económica a escala global, resultado de las características biológicas de esta especie: a) tiene una distribución geográfica extensa, b) estrategias “flexibles” de alimentación, c) tolerancia a condiciones ambientales extremas, d) altas tasas de fecundidad y abundancia, y e) gran potencial pesquero, pero sujeto a grandes variaciones [Kely *et al.* 2008].

El calamar gigante es una especie nerítico-oceánica, altamente migratoria, con un rango de distribución histórico en el Pacífico Oriental (figura 1), su límite sureño son las costas de Chile, entre los 45°-47°S, al norte se conoce hasta California en las costas de Monterey, aunque normalmente no más al norte que las costas de Baja California, entre los 37°-40°N. En la zona ecuatorial se extiende al oeste hasta los 125-140°W, incluyendo las Islas Revillagigedo, Galápagos y el archipiélago Juan Fernández [Nigmatullin *et al.* 2001, Markaida 2001].



Actualmente, su distribución se ha extendido hasta Alaska, aunque no está claro si la expansión ha cesado o continúa expandiéndose en nuevas áreas [Kely *et al.* 2008]. Dentro del Golfo de California su distribución está limitada por la plataforma continental y normalmente alcanza la zona del Canal de Ballenas. Nesis (1983) y Morales-Bojórquez (2001) mencionan que las mayores concentraciones de calamar se encuentran en zonas con alta productividad primaria.

Figura 1. Área de distribución de *Dosidicus gigas*. Tomado de Kely *et al.* 2008, los óvalos representan las principales zonas de pesca.

1.1 Posición taxonómica de *Dosidicus gigas* (calamar gigante)

El calamar gigante fue descrito en 1835 por d'Orbigny como *Ommastrephes gigas* y en 1857 Steenstrup introdujo un nuevo género, *Dosidicus*, por su nueva especie *Dosidicus eschrichtii* que más tarde fue sinonimizada por Pfeffer (1912) como *Dosidicus gigas* (Nigmatullin *et al.* 2001).

Actualmente el género *Dosidicus* incluye a una especie extinta, *Dosidicus lomita* Clarke y Fitch 1979 y a *Dosidicus gigas*. La posición taxonómica de la especie es la siguiente (Markaida, 2001):

Phylum: Mollusca

Clase: Cephalopoda

Orden: Teuthida

Familia: Ommastrephidae

Subfamilia: Ommastrephinae

Género : *Dosidicus*

Especie: *Dosidicus gigas*

Los nombres comunes de *Dosidicus gigas* son: calamar gigante (México y Perú), jibia (Chile, Perú), pota (Perú) y calamar rojo (Chile).

Los caracteres distintivos del calamar gigante son: cartílago sifonal en forma de T invertida, dos hileras de ventosas en los brazos, ausencia de grandes fotóforos en el manto (sólo fotóforos pequeños están presentes en la superficie ventral del manto, cabeza y brazos III y IV), por la ausencia de ojos y fotóforos intestinales en estado larvario y por la terminación de los brazos en filamentos largos y delgados, conteniendo entre 100 y 200 pares de ventosas diminutas muy agrupadas. Aletas romboidales, musculosas y anchas, brazo IV derecho o izquierdo hectocotilizado, sin ventosas (figura 2).

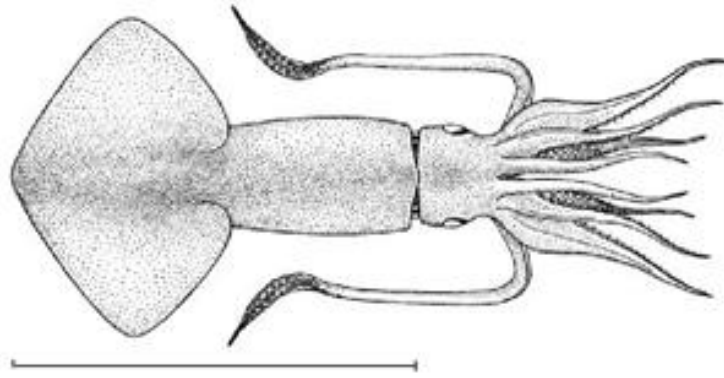


Figura 2. *Dosidicus gigas* (calamar gigante) esquema de la vista dorsal (FAO, 1995). La línea representa la longitud del manto dorsal (LDM).

1.2 Importancia del calamar gigante en el ecosistema pelágico.

Dosidicus gigas es una especie clave dentro del ecosistema pelágico, debido a su gran abundancia, amplia distribución y regulación de los flujos tróficos. Los cambios en la abundancia del calamar pueden influir en el tamaño de la población y distribución de sus depredadores, en los patrones de flujo trófico y función del ecosistema pelágico (Field y Baltz, 2006, Rosas-Luis *et al.* 2008).

En el mundo, la biomasa de los cefalópodos ha aumentado en medida que disminuye su competencia con grandes depredadores (tiburones, peces pelágicos y mamíferos marinos), asumiendo el papel de depredadores en los ecosistemas, entre ellos el Golfo de California, afectando la abundancia y distribución de sus presas (Rosas-Luis *et al.* 2008).

En el Pacífico Oriental, las poblaciones de atún y picudos han disminuido drásticamente, estos peces han sido remplazados por especies de peces más pequeños y por calamares, por lo que *Dosidicus gigas* ha expandido su distribución e incrementado su abundancia a partir de la disminución de la competencia para sus presas comunes (Zeinberg y Robison, 2007).

1.3 Alimentación

Dosidicus gigas es un predador voraz y oportunista, su dieta depende en gran medida de la abundancia y composición faunística del ecosistema. Markaida y Sosa-Nishizaki (2003), reportaron el comportamiento alimenticio de esta especie en la cuenca del Guaymas, donde se alimenta de micronecton mesopelágico,

principalmente de mictòfidos (*Benthoosema panamense*) y en menor grado de otros "peces linterna" (*Triphotorus mexicanus*), calamares y crustáceos. En la costa oeste de Baja California, la dieta del calamar gigante está dominada por el cangrejo rojo (*Pleuroncodes planipes*) presa importante para la mayoría de los depredadores pelágicos de la zona. También es común el canibalismo, en individuos jóvenes de 200-300 mm de longitud del manto (Nigmatullin *et al.* 2001, Kely *et al.* 2008).

1.4 Reproducción

El calamar gigante es dioico con dimorfismo sexual, siendo el manto de los machos cilíndricos, mientras que en las hembras se extiende ligeramente en la parte media (Markaida, 2001), es considerado como un desovador múltiple que quiere decir que aunque solo presenta una temporada de reproducción durante su ciclo de vida (monocíclicos), esta comprende varios eventos de desove (Filauri, 2005). Las hembras presentan la tasa más alta de fecundidad de todos los cefalópodos, alcanzando los 32 millones de oocitos y un rendimiento reproductivo de 3 a 20 puestas de masas de huevos. Se cree que la alta fecundidad está relacionada con su gran tamaño y la alta productividad del hábitat (Nigmatullin *et al.* 2001). Con el fin de reconocer los estadios de madurez, Lipinski y Underhill (1995) definieron 6 estadios: I-II inmadurez, III-IV maduración incipiente, V madurez avanzada y VI post-desove.

Las hembras alcanzan tallas mayores y son más numerosas que los machos. Esto se debe a que los machos viven menos, maduran antes y mueren después de copular a una edad menor (Filauri, 2005). Aunque, Markaida (2001) asume que una de las razones porque las hembras son más dominantes es por el arte pesca, que deja fuera a hembras grandes maduras y a los machos.

La cópula se realiza en posición cabeza-cabeza (figura 3) donde el macho transfiere los espermatozoides mediante el hectocotilo del macho, depositándolos en la membrana bucal de la hembra (Nigmatullin *et al.* 2001).

Su reproducción es a lo largo del año, sin embargo, Ehrhardt *et al.* (1989) identificaron tres picos, siendo el más importante en diciembre-enero cerca de Guaymas, seguido de mayo-junio y septiembre cerca de Santa Rosalía. Por su parte, Hernández-Herrera *et al.* (1998) reconocieron como principal pico de reproducción de enero a mayo. Sin embargo, el ciclo periódico de reproducción

depende de las condiciones oceanográficas (Nigmatullin *et al.* 2001). El desove se lleva a cabo en el talud continental. Staff *et al.* (2008) descubrieron la primera masa de huevos cerca de Guaymas, con un diámetro estimado de 4 m, un número de huevos aproximado de 0.6 – 2 millones y a una temperatura de 25 - 27 °C.

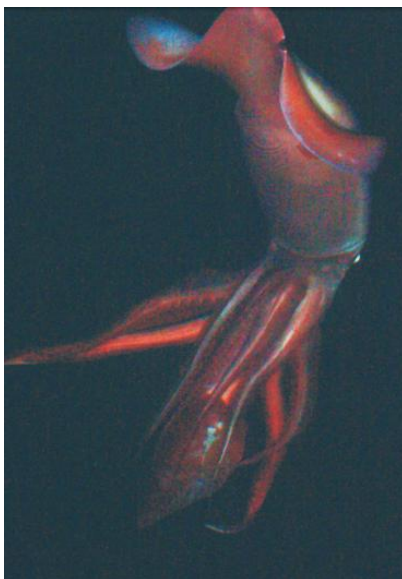


Figura 3. Conducta de apareamiento de *Dosidicus gigas* (Tomado de Gilly *et al.* 2006).

Gilly *et al.* (2006) encontraron paralarvas y juveniles de *Dosidicus gigas* cerca de la Isla San Pedro Mártir en el centro del Golfo de California. Esto autores sugieren que los calamares además de encontrarse en las zonas de pesca (Santa Rosalía BCS, Guaymas, Sonora) también se distribuyen de manera abundante cerca de esta Isla. Camarillo-Coop *et al.* (2008), reportaron la presencia de para larvas en el centro del GC y Guaymas en verano (junio y septiembre), cuando se incrementa la temperatura (27-29.5°C) y cuando hay un aumento en la producción primaria de la costa oeste del Golfo de California donde hay una mayor disponibilidad de alimento y donde la temperatura puede influir en el rápido crecimiento de las paralarvas.

1.5 Migraciones

Diversos autores han descrito el patrón migratorio del calamar gigante, entre ellos Klett y Traulsen (1996) y Ehrhardt *et al.* (1983), quienes señalan que la población del calamar gigante que habita el Golfo de California migra en respuesta a las actividades de alimentación y reproducción. Los modelos están basados en los patrones de distribución de la pesquería.

Según Klett y Traulsen (1996) el calamar gigante entra al Golfo de California de manera estratificada, por tamaños, iniciando en invierno, con cardúmenes de calamar grande (45 cm de LDM), seguido de calamares más pequeños (30-40 cm LM), estableciéndose grandes concentraciones de calamares maduros (55 cm LM) frente a Guaymas. En la primavera los individuos de tallas medianas y grandes cruzan el Golfo hasta Santa Rosalía y es en verano (junio-septiembre) donde se pesca de forma exitosa. En otoño (octubre-noviembre) el calamar se desplaza a la boca del Golfo. Ehrhardt (1991) añade que entre mayo y agosto los ejemplares mayores (35-65 cm de LM) se encuentran frente a la costa de Santa Rosalía, BCS. Además menciona que los calamares que salen del Golfo, migran al sur a lo largo de la costa del continente.

Markaida *et al.* (2005), propusieron un patrón de migración a través de un método de captura-recaptura de calamar gigante en la parte central del GC, los resultados demuestran que esta especie migra de Santa Rosalía a Guaymas a finales de noviembre y principios de diciembre y viceversa a finales de mayo y principios de Junio, cruzando el Golfo de California en solo 16 días a una velocidad estimada de 8 Km/día. De tal forma, que los calamares grandes (40-80 cm LM) se mantienen a disposición de la pesca alrededor de la cuenca del Guaymas durante todo el año. Gilly *et al.* (2006) sugieren que la ruta de migración desde Sta. Rosalía a Guaymas implica el paso a través del área de San Pedro Mártir y que la misma ruta podría ser el recorrido en la dirección opuesta en el mes de mayo.

1.6 Distribución vertical

Los integrantes de la familia Ommastrephidae realizan migraciones verticales diarias, visitando aguas epipelágicas durante la noche (Nakamura, 1993) *Dosidicus gigas* muestra una marcada migración vertical asociada a la fauna mesopelagica que constituye la capa de dispersión acústica, siendo está, el límite superior de la capa mínima de oxígeno (CMO). En el Golfo de California, esta zona hipóxica se encuentra en 250-800 m de profundidad (Gilly *et al.* 2006).

El calamar gigante se encuentra desde la superficie hasta los 1200 m de profundidad, durante el día generalmente se encuentran entre los 800-1000 m, mientras que en la noche suben a la superficie, Esta migración parece depender de la necesidad de alimentarse (Markaida, 2001) y de la temperatura del agua. La velocidad a la cual se desplaza en dirección vertical supera los 1.8 m/s (Cole y

Gilbert, 1970). Gilly *et al.* (2006) registraron una velocidad de 1.28 m/s [9 metros en 7 segundos].

Un comportamiento observado por diferentes autores es que los calamares durante luna llena evitan acercarse a la superficie, que se refleja en su pesquería, obteniéndose mayores capturas durante luna nueva (Markaida, 2006).

Nigmatullin *et al.* (2001) sugiere que hay segregación sexual en la profundidad, donde los machos se distribuyen por debajo de los 20 m, por lo que se pescan en menor proporción. El calamar gigante permanece en la capa mínima de oxígeno durante el día. Gilly *et al.* (2006) señalan que a pesar de los bajos niveles de oxígeno existentes en la CMO, el calamar gigante pasa una gran parte de su tiempo a profundidades mayores a 200 metros, estando de 400-800 minutos y a una concentración de oxígeno disuelto de 18.8 μM .

Las adaptaciones fisiológicas y bioquímicas del calamar gigante le permiten permanecer activo bajo condiciones de hipoxia y le permiten sobrevivir en un ambiente que en general es nocivo (i.e, la capa mínima de oxígeno) para la mayoría de peces pelágicos, e incluso otros cefalópodos (Rosas *et al.* 2008).

1. 7 La pesquería del calamar gigante

Mundialmente, la pesca de cefalópodos ha aumentado de forma significativa ya que representan una alternativa importante para suplir a las pesquerías tradicionales de peces (Pauly *et al.* 2002), convirtiéndose en uno de los recursos marinos más importantes (FAO, 2005). Los calamares de la familia Ommastrephidae constituyen la mayor parte de las pesquerías de los cefalópodos siendo los calamares del suborden oegopsida los únicos explotados en el mundo, debido a ciclos de vida cortos y estaciones de desove prolongadas, de modo que existen múltiples cohortes presentes en cualquier momento, lo que los hace susceptibles a la sobrepesca (Pierce y Guerra 1994, Pierce *et al.* 2008).

Debido a su alta abundancia en costas del Perú y en el Golfo de California, esta especie soporta la pesquería más grande de cefalópodos en el Pacífico. Sólo para el 2010 se tuvo en desembarque de 815,978-t en 2010 (Taípe *et al.* 2001, FAO,2012).

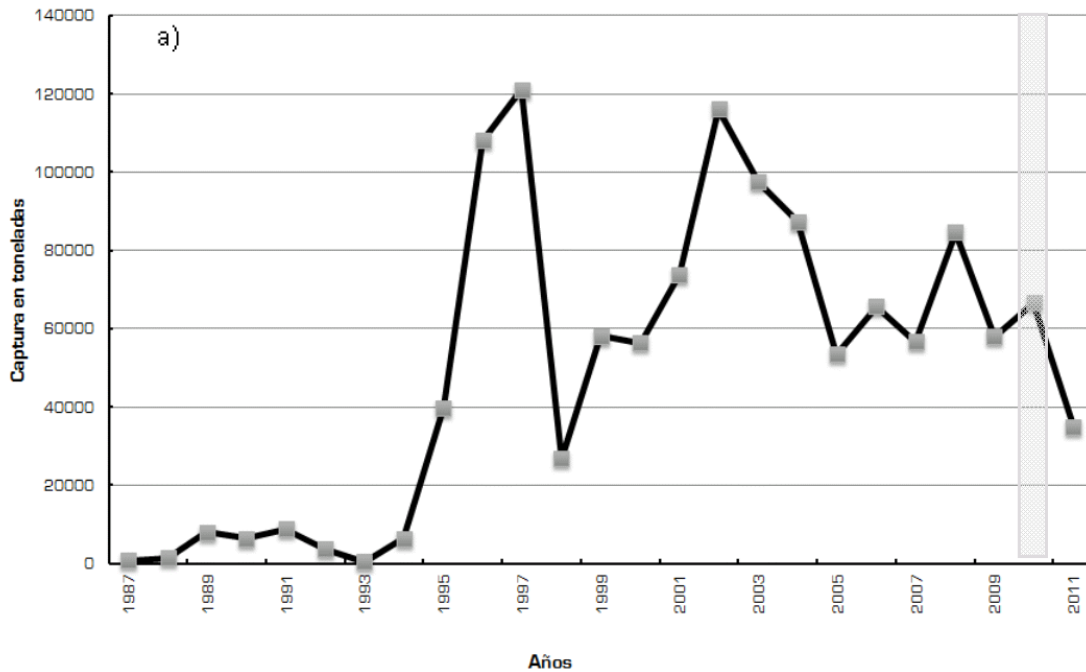
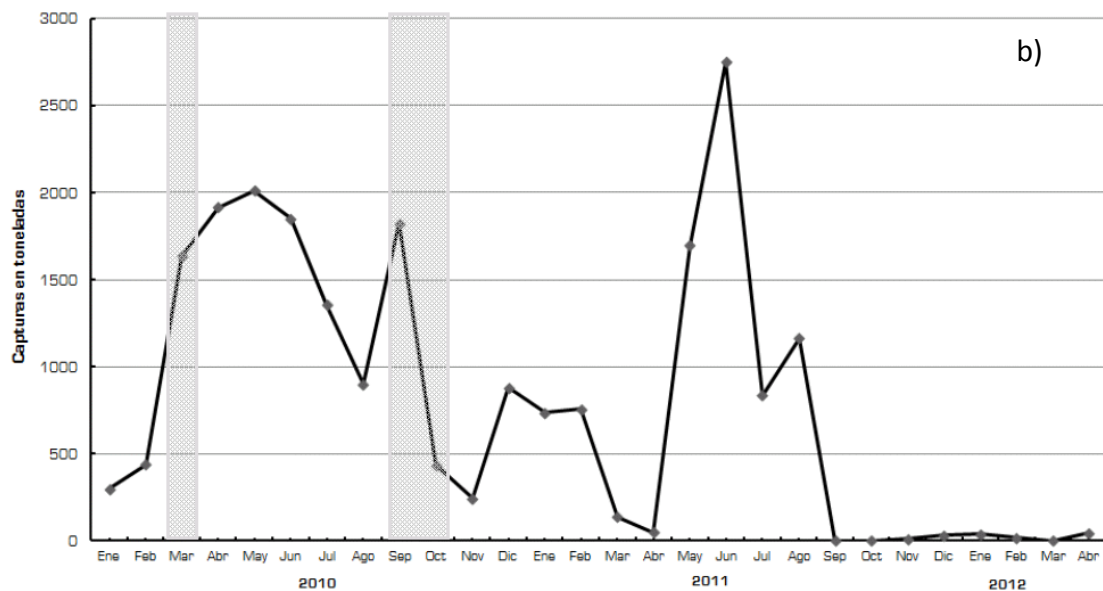


Figura 4. a) Comportamiento histórico de la captura de calamar en México. Los datos son de toda la República Mexicana e incluyen las especies de calamar de interés comercial, sin embargo, el 99% de las capturas corresponden a *Dosidicus gigas* en la costa del Pacífico, con el 89% de desembarque en Baja California y Sonora (CONAPESCA, 2011). b) Capturas mensuales de calamar gigante en la zona de Guaymas, Sonora en 2010 (Sub-delegación Federal de Pesca en Guaymas). En ambas gráficas el área sombreada corresponde al año en el cual se realizó este estudio.



En México, la captura del calamar gigante ha sostenido una de las pesquerías artesanales más importantes, siendo de gran importancia económica particularmente para la región del Golfo de California. Sin embargo, este recurso ha presentado fluctuaciones desde el inicio de su pesquería, caracterizándose por

períodos de alta abundancia seguidos de una caída en disponibilidad y abundancia (figura 4).

1.7.1 La pesquería del calamar gigante en México

En la estructura y desarrollo del sector pesquero del noroeste mexicano (Sonora, Baja California, Baja California Sur y Sinaloa) una de las actividades económicas más importantes en los últimos años ha sido la pesquería de calamar gigante siendo la quinta especie más importante para México en términos de volumen de captura (CONAPESCA, 2010). Son dos las principales zonas productoras de calamar, Santa Rosalía en Baja California Sur y Guaymas en el estado de Sonora. La actividad de esta pesquería se extiende todo el año concentrándose frente a Baja California Sur en primavera y verano, siendo éste el principal estado productor de calamar, y frente a Sonora en otoño e invierno. (Hernández-Herrera *et al.* 1998). La captura de este recurso genera empleos directos e indirectos de seis a ocho meses, dedicados al mantenimiento de embarcaciones, equipos eléctricos y de refrigeración, diversos servicios comerciales (venta de abarrotes, hospedaje, mensajería, etc.) comunicaciones, agua potable y alcantarillado, además representa una actividad económica alternativa y complementaria para los pescadores que principalmente se dedican al camarón (De la cruz *et al.* 2011).

1.7.2 Técnicas de pesca

El calamar se pesca mediante señuelos denominados poteras (figura 5), que constan de un cebo artificial (fluorescente) con varias coronas de anzuelos, que prende al calamar cuando este la ataca. La atracción se realiza mediante la iluminación de la embarcación durante la noche, basada en la voracidad y fototropismo positivo del calamar (Markaida 2001, Morales-Bojórquez *et al.* 2001)



Figura 5. Señuelos para la captura de calamar gigante.

La captura se realiza en embarcaciones artesanales (pangas) y por barcos camaroneros adaptados a la pesca del calamar. Las pangas son embarcaciones

de fibras de vidrio con capacidad de 1.5 - 3 toneladas (t), son tripulados por dos o tres pescadores en jornadas de 6 a 12 horas. Los barcos cuentan con bodegas con una capacidad de 50 t, con una tripulación de 7-9 pescadores con jornadas de cinco a seis horas (De la cruz *et al.* 2011).

1.7.3 Comportamiento histórico de la captura de calamar gigante en México

Las primeras capturas de calamar gigante registradas en aguas mexicanas corresponden a la pesca exploratoria realizada por un barco calamarero japonés del Centro de Investigación de Recursos Marinos (JAMARC) durante octubre y diciembre de 1971 a lo largo de la costa del Pacífico mexicano, incluido el Golfo de California (Markaida, 2001).

La pesca comercial inició en 1974 con la operación de una reducida flota artesanal (Morales *et al.*, 2001), cuando la demanda era baja y se consumía localmente. En 1978 con la incorporación de barcos camaroneros se incrementó la explotación en el Golfo de California. Con el uso de nuevas tecnologías y de los altos niveles de abundancia y disponibilidad del recurso a finales de la década de los setenta, se reflejó un incremento en la captura, que pasó de 2,000 t en 1978 a 22,464 t en 1980. Sin embargo, en 1982 la pesquería colapsó.

A finales de la década de los noventa se presenta un repunte en la captura de este recurso, alcanzando un máximo histórico de 120,877 t en 1997, seguido de una caída en la producción de 26,611 t. Nevárez-Martínez *et al.* (2000) y Lluch-Cota *et al.*, (1999) Ehrhardt *et al.* (1986) atribuyen la caída de las capturas al efecto de El Niño de ese año. La reducción de las capturas en un 75% implicó pérdidas de unos 3,200 empleos directos y 16 millones de dólares (Lluch-Cota *et al.*, 1999). En 1999 el calamar volvió a presentarse en el Golfo de California, alcanzando el segundo máximo de captura en el 2002 con 115,954 t. Hasta el 2010, las capturas estuvieron por debajo de los máximos registrados. En el 2011 esta pesquería registró las capturas más bajas de los últimos catorce años, con capturas de 58 t (figura 4 a) en los primeros tres meses del año, obteniendo pérdidas de tres millones pesos diarios (com. person autoridades municipales de Guaymas, Sonora).

Las causas de la variabilidad en las capturas no son del todo conocidas, pero algunas hipótesis sugieren cambios en los procesos biológicos e hidrográficos (respuestas migratorias de las poblaciones pelágicas, principalmente a la disponibilidad de sus presas, éxito reproductor y reclutamiento: Klett, 1981; Ehrhardt *et al.*, 1986). Sin embargo, hay una fuerte evidencia de que el evento climatológico de “El Niño” influye en el sistema, afectando la distribución y abundancia de las presas potenciales del calamar (Waluda *et al.* 2006).

Robinson *et al.* (2013) señalan que las fluctuaciones de las capturas del calamar están relacionadas con las variaciones en la temperatura superficial del mar y con la concentración de clorofila (ambientes altamente productivos). Los resultados de este trabajo indican que a partir de los fenómenos climatológicos de “La Niña” de 1999 el ambiente en el Golfo de California ha pasado de ser altamente productivo a mesotrófico, lo que se ve reflejado en las capturas del calamar gigante (figura 6).

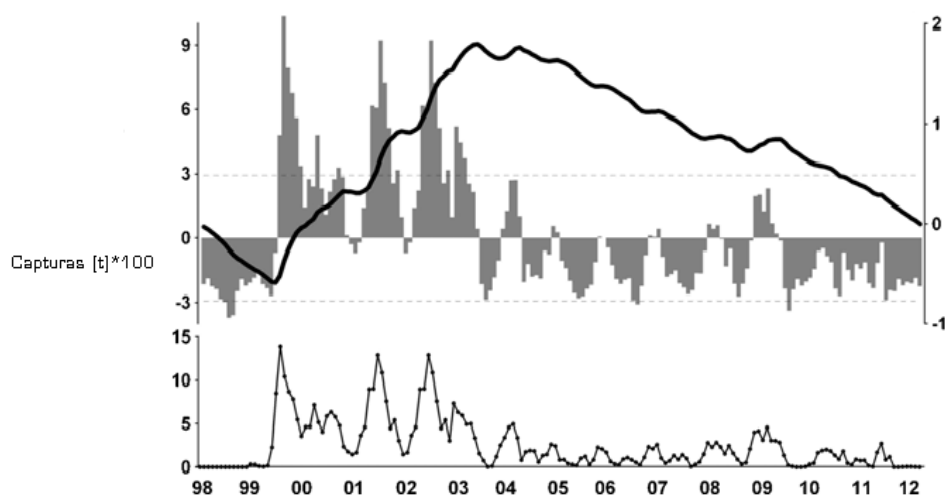


Figura 6. Capturas de calamar gigante asociadas a las anomalías de Clorofila-*a*. La línea con puntos representa las capturas mensuales de *Dosidicus gigas* en Guaymas, Sonora; las barras representan las anomalías mensuales; la línea gruesa muestra la suma parcial de las anomalías (Tomado de Robinson *et al.*, 2013).

1.7.4 Manejo de la pesquería

La pesquería de calamar ha planteado al escape proporcional como política de manejo, con un nivel permisible de K:40%, el éxito de la estrategia de conservación de la población, se apoya en un valor de escape de individuos maduros que eviten la probabilidad de un bajo reclutamiento, aunque esta medida no puede ser implementada en cualquier momento de la pesca, ya que es necesario definir el

tamaño inicial de la población para determinar el valor de K (Rosenberg *et al.* 1990, Beddington *et al.* 1990).

En México, a partir del incremento en la captura de calamar gigante en los noventa, el esquema de manejo se basó en la regulación de los permisos de pesca mediante análisis de captura por unidad de esfuerzo (Instituto Nacional de Pesca, 2006). En la actualidad estas medidas siguen vigentes, con la intención de mantener un escape proporcional del 40% (Nevárez-Martínez, 1997), no existen cuotas de captura, tamaño mínimo de pesca, ni temporadas de veda, lo que dificulta el manejo de esta especie tan impredecible.

Es evidente que el manejo actual de la pesquería de *Dosidicus gigas* debe considerar métodos alternativos que ayuden a evaluar la población de calamar, que incluyan el conocimiento de la distribución espacio-temporal y mejoren las estimaciones de biomasa en tiempos cortos. En este estudio se propone a la hidroacústica como una herramienta alternativa.

1.8 Aplicación de la hidroacústica para la evaluación de poblaciones de calamares

Los primeros estudios hidroacústicos en poblaciones de calamares con el uso de ecosondas, se enfocaron en localizar y determinar la forma y tamaño de las poblaciones. Kawaguchi y Nazumi (1972) utilizaron ecosondas con frecuencias de 75 y 200 KHz para identificar escuelas de *Ommastrephes sloani pacificus*, Recksiek (1978) utilizó frecuencias de 38 y 200 KHz para localizar escuelas de *Loligo opalescens*.

Otros estudios se enfocaron en la relación entre la LDM y fuerza de blanco (TS por sus siglas en Inglés Target Strength) y de la de algunas especies de calamar. Vaughan y Recksiek (1978) reportaron la TS de desde el plano dorsal de *Loligo opalescens* con una variación de -49.3 a -38.8 dB. Kajiwara *et al.* (1990) realizó un estudio parecido con *Ommastrephes bartrami*, comparando las fuerzas de blanco del calamar vivo y congelado.

Starr (1985) utilizó por primera vez un sistema acústico de haz dividido en combinación con métodos de eointegración para maximizar el número individual

de ecos de *Loligo opalescens*, además de estimar los TS del calamar con un barco sin y en movimiento.

En México, Solokov [1973], fue el primero en utilizar métodos hidroacústicos en el Golfo de California para evaluar la distribución de la sardina del Pacífico [*Sardinops sagax*].

Benoit-Bird *et. al* (2008) utilizaron métodos hidroacústicos por primera vez en el Golfo de California, para estudiar la fuerza de blanco de *Dosidicus gigas* utilizando cuatro frecuencias 38, 70, 120 y 200 KHz. Estos autores mencionan que aunque los métodos acústicos han sido ampliamente utilizados en la evaluación de poblaciones de peces, la aplicación de la acústica para estudiar al calamar gigante ha recibido mucha menos atención. Sin embargo, los métodos acústicos se han empleado para detectar agregaciones del desove (Lipinski y Prowse, 2002), para la evaluación del reclutamiento mediante la cuantificación de las puestas de "huevos" (Foote *et al.*, 2006) y para la caracterización acústica de diferentes grupos de calamar (Boyle y Rodhouse, 2005).

Robinson *et. al* (sometido, 2011), realizaron el primer estudio sobre la distribución de *Dosidicus gigas* con hidroacústica en un crucero oceanográfico en una región extensa. En uno de sus períodos de muestreo en el mes de marzo encontraron agrupaciones de ecos asociados a los calamares en la parte central y al este del Golfo de California GC a una temperatura superficial (SST) de 17.5 - 19 °C.

1.9 Justificación.

La pesquería del calamar gigante ha sido una de las actividades más relevantes en el sector pesquero en México durante los últimos años. Sin embargo, este recurso se caracteriza por períodos de alta abundancia seguidos de una caída en disponibilidad y abundancia. La situación actual de esta pesquería se encuentra en un momento difícil, en el que los desembarques registrados en los últimos tres años son bajos, para los primeros tres meses de 2012 las capturas han sido de sólo 58 t trayendo como consecuencia pérdida de capital físico y social.

Pese a la importancia ecológica y económica que el recurso calamar tiene para nuestro país, los trabajos de investigación sobre el calamar gigante en el Golfo de California se han enfocado en: hábitos alimenticios (Markaida y Sosa-Nishizaki 2003), crecimiento (Markaida *et al.* 2005), migraciones estacionales (Markaida *et al.* 2005), estructura poblacional (Morales-Bojórquez, 2001), zonas de desove (Gilly *et al.* 2006) y estimación de biomasa por métodos directos (Starr y Thorne, 1998). Sin embargo, el estudio de la distribución, comportamiento y estimación de biomasa de esta especie utilizando métodos indirectos como la hidroacústica, ha recibido menor atención, por lo que es necesario incrementar el conocimiento existente sobre *Dosidicus gigas*, utilizando métodos alternativos que nos permitan conocer mejor la biología de esta especie y la abundancia de ésta.

El muestreo acústico provee estimaciones directas de abundancia, puede realizarse en casi cualquier tipo de embarcación, además de puede cubrir grandes áreas, lo que facilita la detección de los blancos que tienen una distribución amplia. Cabe señalar, que se puede tener una visualización en tiempo real y un rápido procesamiento de datos asociados a los blancos, en este caso, el calamar gigante.

El trabajo que aquí se presenta se realizó en el año 2010, un año antes del colapso de la pesquería del calamar en 2011, es el primer estudio a gran escala en el Golfo de California utilizando la hidroacústica para conocer la distribución y abundancia de *Dosidicus gigas*. Se presenta la primera estimación de biomasa instantánea, independiente de los datos de la flota pesquera utilizando la hidroacústica. Las estimaciones de biomasa que se han hecho de este recurso, se han realizado a partir de datos provenientes de la pesquería y no son estandarizados a unidades de área, lo que crea una incertidumbre sobre la producción de calamar dentro del GC y por lo tanto, un sesgo en la estimación de biomasa.

El presente estudio tiene un potencial de desarrollo científico y tecnológico para estimar la distribución y abundancia, de forma independiente a los datos de pesca de calamar gigante en el GC y su variabilidad asociada a algunas variables ambientales: clorofila y temperatura superficial del mar y oxígeno disuelto.

2. Objetivo general

Conocer la distribución y estimar la biomasa instantánea de *Dosidicus gigas*, durante los meses de marzo y septiembre-octubre de 2010 en el Golfo de California utilizando métodos hidroacústicos.

2.1 Objetivos particulares

- Analizar la composición de tamaño, proporción de sexos y madurez sexual de *Dosidicus gigas*.
- Analizar la distribución del calamar gigante con la temperatura superficial y clorofila-*a* detectadas por satélite.
- Conocer la distribución del calamar gigante asociada con el perfil vertical de la temperatura, clorofila-*a* y oxígeno disuelto.
- Utilizar la hidroacústica para conocer la distribución vertical del calamar gigante.

3. Área de estudio

Conocido también como “Mar de Cortés” o “Mar Bermejo”, el Golfo de California es un cuerpo de agua que separa la Península de Baja California del continente mexicano (22-32° N y 105-107° W). Sus dimensiones son de 1130 km de largo y 80-209 km de ancho.

Geológicamente el Golfo de California se formó por la expansión de zonas de falla, por lo que presenta una batimetría muy compleja. El norte del Golfo es somero, mayoritariamente plataforma continental, el centro y sur está formado por una cadena de cuencas y por dos islas: Ángel de la Guarda y Tiburón, la profundidad se incrementa en dirección sur. Las cuencas de la boca del Golfo alcanzan los 3,000 m de profundidad y están separadas por umbrales transversos de hasta 1,500 m de profundidad, por lo que existe un contacto abierto con el Pacífico adyacente (Figura 1). La cuenca del Guaymas es la más extensa, cubriendo un área de 240 por 60 km. [Lluch-Cota *et al.* 2007].

La fuerza atmosférica sobre el golfo es estacional, vientos débiles del suroeste soplan durante el verano y del noroeste los más fuertes durante el invierno. Las precipitaciones se presentan principalmente durante el verano, junto con el transporte de vapor de agua hacia el noroeste (*Marinone et al. 2004*).

Las condiciones de la superficie del océano son dominados por la dinámica oceánica y la fuerza atmosférica. Las temperaturas más altas se encuentran en la boca y al norte del Golfo durante el verano, mientras que en la parte media, alrededor de las grandes islas, la temperatura es baja a lo largo del año (Lluch-Cota et al, 2007). En el norte la temperatura oscila de 10° a 32° C de invierno a verano, en el centro la temperatura superficial alcanza valores de 16° y 31°C. (Soto et al., 1999)

El Golfo de California representa un área subtropical con tasas excepcionalmente altas de productividad primaria, comparable a aquellas del Golfo de Bengala, y áreas de surgencia del oeste de Baja California y noroeste de África; su productividad es entre dos o tres veces mayor a la del océano abierto a latitudes semejantes. El promedio de productividad para todo el Golfo es de 0.382g C m²día (Zeitzschel, 1969 en Markaida, 2006).

El océano Pacífico e Índico son conocidos por sus grandes áreas con bajas concentraciones de oxígeno disuelto, localizadas desde el sur de Canadá hasta el centro de Chile, incluyendo el Golfo de California. Parker (1964) reportó concentraciones inferiores a 0.5 mL L⁻¹ frente a las costas de Sinaloa. Hendrickx (2001) reportó que en la zona de oxígeno mínimo, que se extiende a profundidades que van de los 150 a 750 m, carece de macrofauna bentónica.

Las bajas concentraciones de oxígeno a profundidades intermedias son características del centro-sur del Golfo de California y del Pacífico adyacente. En la mayor parte del Golfo las concentraciones de oxígeno son mayores a 1 ml L⁻¹ en los 100 m superficiales, decreciendo por debajo de 0.5 ml L⁻¹ bajo los 150 m. A profundidades intermedias (500-1000 m) las concentraciones de oxígeno en algunos lugares son indetectables (Álvarez-Borrego y Lara-Lara 1991).

El área de estudio comprende la zona de las Grandes Islas y el centro del Golfo, entre los 29.76° N y 113.88° W y 26.16° N y 111.22° W. (Figura 7).

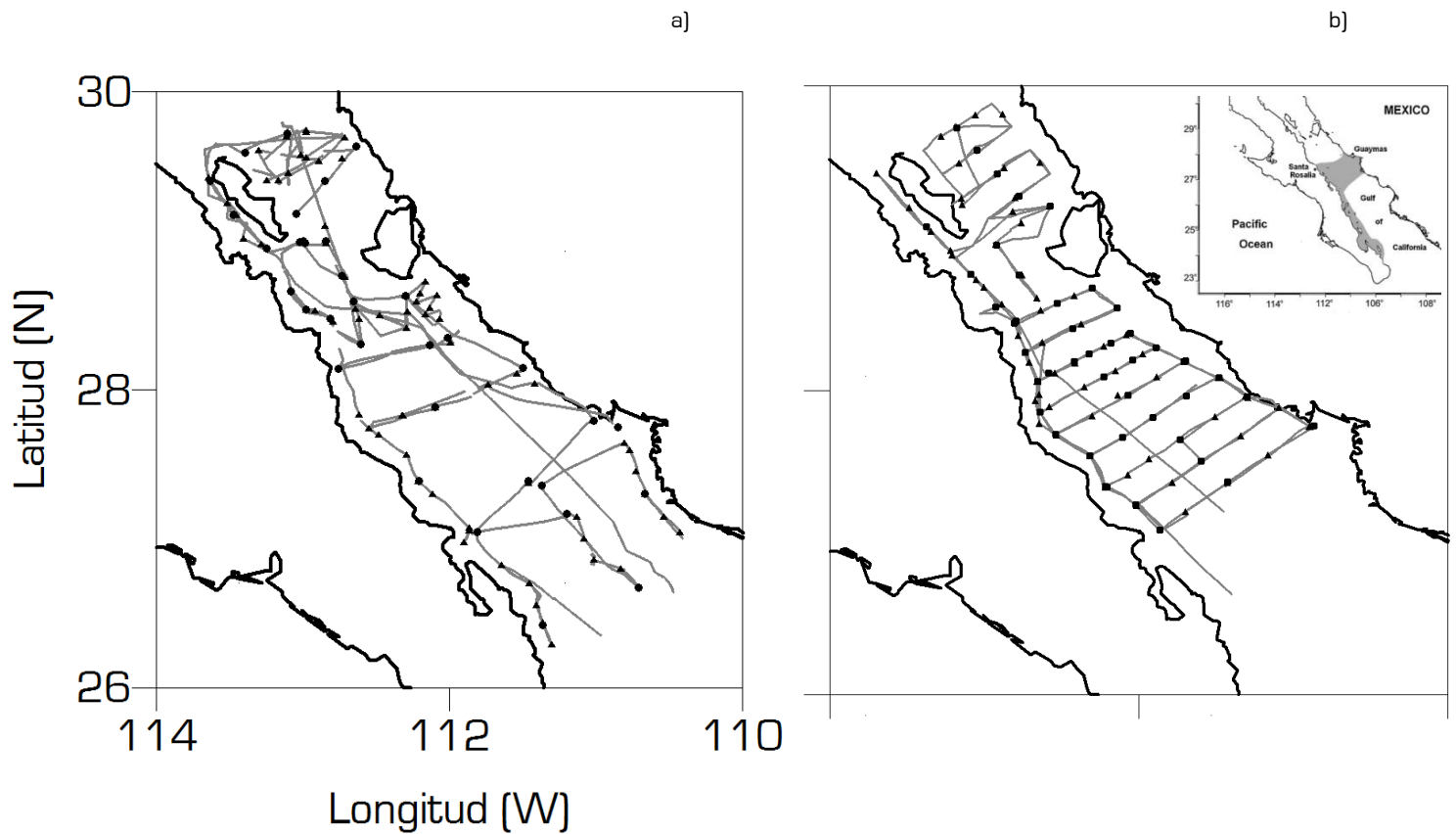


Figura 7. Área de estudio y derrotero de la prospección hidroacústica: a) marzo y b) septiembre-octubre del 2010. Los círculos muestran las estaciones donde se realizó lances de CTD, los triángulos los lances de poteras. El mapa en la esquina superior izquierda muestra la ubicación de la zona de estudio, el área sombreada representa la zona de pesca del calamar en México.

4. Material y método

Los datos oceanográficos, hidroacústicos y biológicos, se obtuvieron durante las campañas realizadas a bordo del B/O “El puma” denominadas Calamares y Peces Pelágicos del Golfo de California (CAPEGOLCA registros 4 y 5), llevadas a cabo del 10 al 25 de marzo y de 17 septiembre al 4 de octubre del 2010 por el Laboratorio de Ecología de Pesquerías del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología de la UNAM. En ambas campañas se realizaron prospecciones acústicas y una serie de estaciones oceanográficas a lo largo de diferentes transectos diseñados para conocer el comportamiento y distribución de *Dasidicus gigas* en el Golfo de California.

4.1 Datos satelitales

La temperatura superficial del mar (TSM) y la clorofila-*a* fueron registradas por el espectro radiómetro MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectrometre) que esta a bordo de satélite Terra (lanzado en diciembre de 1999). Los datos se obtuvieron de la pagina de la NASA (<http://oceandata.sci.gsfc.nasa.gov/MODIST/Mapped/>). En esta página se encuentran las bases de datos de TSM y clorofila-*a* desde el año 2000 hasta la fecha. Los datos están disponibles en una base diaria, por semana, mes o año. En el presente trabajo, se utilizaron los datos semanales (8-days composite) con una resolución de 4 Km. Para marzo de 2010 se procesaron y analizaron las semanas 9 -11 que corresponden a los días 6-29 de marzo; para el crucero de septiembre-octubre se analizaron las semanas 34-36 que corresponden a los días 22-30 de septiembre y del 1-15 de octubre del 2010 (Tabla 1).

| Marzo | |
|-------------------------|--|
| Días de muestreo | Datos de satélite (MODIS) disponibles por semana del año |
| 11-13 (Semana 1) | Semana 9 |
| 14-21 (Semana 2) | Semana 10 |
| 22-29 (Semana 2) | Semana 11 |
| Septiembre -octubre | |
| 22-29 sep (Semana 1) | Semana 34 |
| 30-4 sep-oct (Semana 2) | Semana 35 |
| 8-15 oct (Semana 3) | Semana 36 |

Tabla 1. Periodos de muestreo correspondientes a la semana de análisis satelital de MODIS.

Los datos provenientes de este sensor cubren todo el planeta y equivalen a 37,324,800 celdas de 4 Km de resolución. A partir de estas celdas se seleccionaron las correspondientes al Golfo de California. Para hacer esto se desarrollaron algoritmos mediante los programas Matlab-7 y Minitab 14.

4.2 Perfiles verticales de temperatura, oxígeno y clorofila-*a*

En las estaciones oceanográficas se hicieron lances de CTD (General Oceanics Mark III) para registrar a lo largo de la columna de agua los valores de temperatura, clorofila-*a* y oxígeno disuelto. La profundidad máxima a la cual se bajó el CTD fue 200 metros, para las estaciones ubicadas sobre la plataforma continental los lances se hicieron a 50 metros arriba del fondo.

4.3 Equipo hidroacústico utilizado

La información acústica para la localización de los calamares se obtuvo por medio de una ecosonda científica Simrad EK60 de 120 KHz de haz dividido con un ángulo de apertura de 7°, con una potencia de transmisión de 500 W. La velocidad de repetición de pulso (ping) fue de 3 s⁻¹, la duración del pulso fue a 256 μs que da una resolución vertical de 19 cm.

Los datos acústicos fueron geo-referenciados cada 5 segundos con un sistema de posicionamiento global (GPS, Trimble AgCPS 130). La visualización de datos durante la prospección acústica se utilizó el programa EK60, ejemplo de cómo presenta la información en tiempo real puede verse en la figura 9.

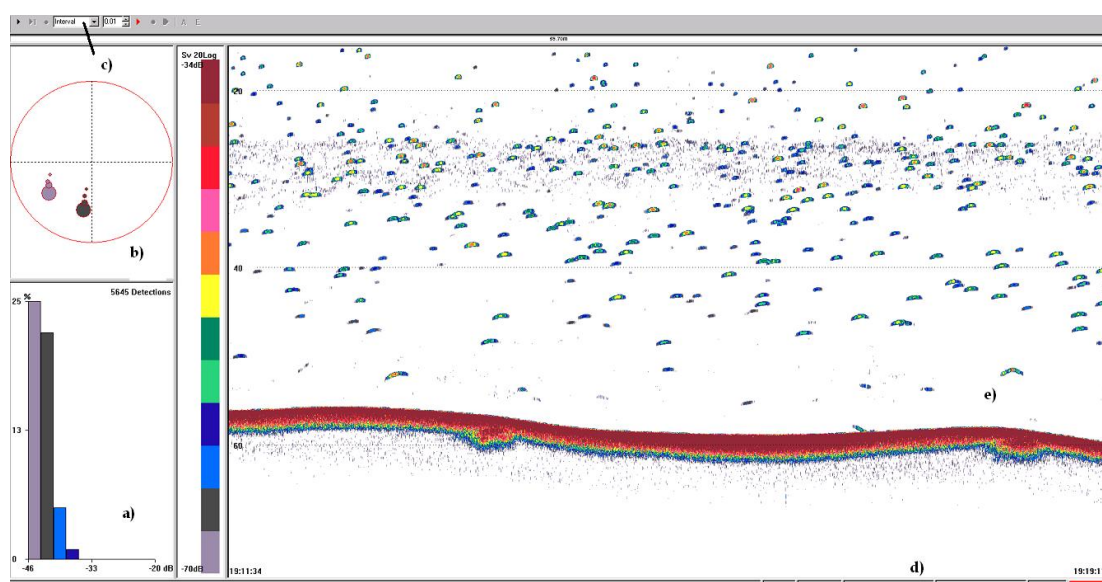


Figura 9. Ecograma en tiempo real. a) Gráfica de frecuencias con los dB para la fuerza de blanco seleccionada. b) los puntos representan el cuadrante del haz donde se localizan los blancos acústicos. e) longitud del pulso. d) geoposición del ecograma, día y hora. e) las manchas azules representan blancos acústicos, la línea roja el fondo de la columna de agua.

El transductor se fijó en el pozo de instrumentos del buque a 4 m de profundidad; fue calibrado a partir de lo establecido por el manual de Simrad (2008) con una esfera de cobre de 23 mm a una fuerza nominal de -40.4 dB.

4.4 Procedimientos para la identificación acústica de los calamares

El análisis de los ecogramas se realizó por medio del software *Sonar 4 version 5.9.8* (Balk and Lindem, 2011). Este programa fue diseñado para analizar el número de blancos acústicos por unidad de área y volumen, tamaño, distribución y abundancia. Cada ecograma se dividió en segmentos de 50 pings, que corresponde aproximadamente a 83 m de acuerdo a la repetición del pulso (3 s^{-1}) y la velocidad del barco (aprox. 5 m s^{-1}). Cada segmento se dividió en 29 estratos de 10 metros de profundidad cada uno, empezando a los 10 metros y terminando a los 300 m (o 10 metros arriba del fondo en aguas someras). Por lo tanto la celda básica de análisis (CBA) fue de 50 pings por 10 m (figura 10).

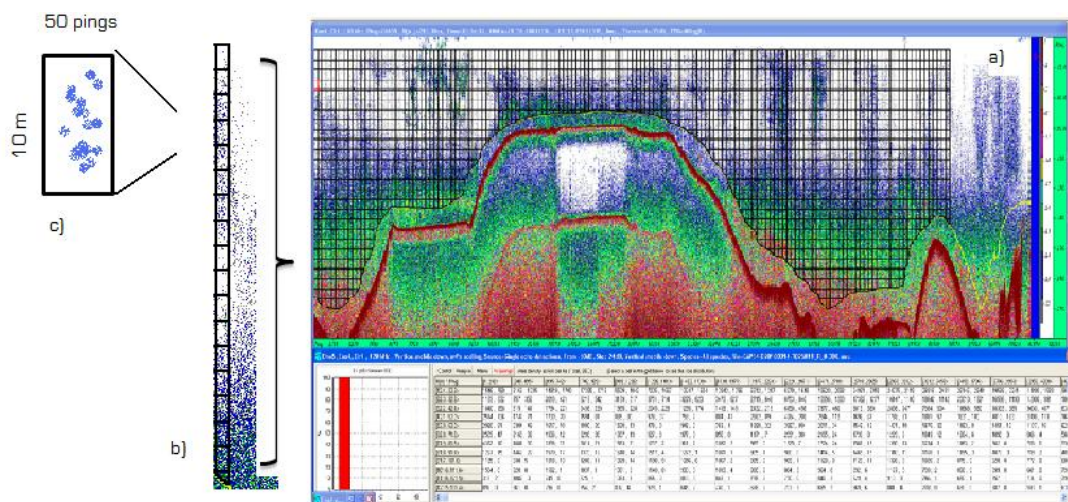


Figura 10. Análisis de ecograma a través de Sonar 4. a) ecograma analizado, en la parte inferior se muestra una tabla con los datos del análisis b) segmento c) celda.

Para distinguir los ecos del calamar gigante de otros organismos pelágicos y utilizarlos en la estimación de biomasa y distribución se utilizaron tres criterios para cada CBA:

- Ecos con una fuerza de blanco entre -45 a -30 dB. Este intervalo equivale a calamares con una longitud de manto de 14 a 78 cm de longitud de manto, según Benoit-Bird *et al.* (2008).
- Grado de agrupamiento menor al 20%. El grado de agrupamiento indica la proporción de ecos identificados como individuales. Los valores de agrupamiento pueden ir de 0 a 100%, siendo el cero el valor de mayor agrupamiento (i.e. ningún eco en la muestra identificado como individual)

a) Más de un eco individual en la CBA.

Los criterios antes mencionados se basaron en las observaciones hechas durante el crucero de marzo. Durante este crucero, en la zona de las Grandes Islas, se detectaron ecos de calamar, identificados como líneas continuas en el ecograma (figura 10 b), para corroborar lo registrado, se bajo la cámara submarina, en este sitio se observaron calamares, un grupo de sardinas [*Sardinops sagax*] y peces pelágicos no identificados. En este sitio fueron capturados 17 calamares con poteras (en realidad se pudieron pescar mucho más pero se decidió que 17 eran suficientes). Los peces pelágicos mostraron ecos amorfos, los rastros en el ecograma indican que se mantuvieron cerca de la superficie, sin movimientos de migración vertical evidente. Por su parte, los calamares presentan ecos a lo largo del ecograma, lo que indica los movimientos verticales de este cefalópodo. Utilizando estos tres puntos, se pudo separar hasta un 90% los ecos provenientes de calamares. Mediante este algoritmo, se analizaron aquellos ecogramas en los que la velocidad del buque oceanográfico fuera mayor a 4.5 km, ya que cuando este se detiene, el ruido generado (motores y cobra-líneas hidrográficos utilizados para los lances del equipo) se confunde con la fuerza de blanco de *Dosidicus gigas*.

Se definen segmentos positivos (seg+) aquellos en los cuales existieron al menos una CBA que cumpliera con los tres criterios antes mencionados (i.e. CBA con calamares).

4.5 Estimación de abundancia y biomasa instantánea

Para estimar abundancia y biomasa acústica es necesario conocer ***Sigma esférico*** [σ_{sp}], que es la relación entre la energía recibida por un blanco acústico y la energía reflejada por ese blanco, se define como:

$$\sigma_{sp} = 4\pi \left(\frac{I_r}{I_i} \right)$$

Donde I_r es la intensidad del sonido reflejada por el blanco, I_i es la intensidad incidente en el blanco. La versión logarítmica de σ_{sp} se le denomina fuerza del blanco o TS (por su acrónimo en inglés, target strength) y se define como:

$$TS = 10 \log_{10} (\sigma_{sp})$$

Las unidades de TS en general son negativas (serían cero cuando la intensidad reflejada es la misma que la que incide) y están expresadas en dB.

Para estimar el σ_{sp} a partir de una TS registrada en el campo, se despeja la ecuación previa como:

$$\sigma_{sp=10} (TS/10)$$

La TS de un organismo es una relación que nos indica la intensidad del eco. El eco se refleja de cualquier objeto o superficie que tiene una densidad distinta a la del agua.

Benoit *et al.* (2002) señalan la posibilidad de convertir la energía acústica (dispersión acústica o Scattering area) en unidades orgánicas, es decir, en índices de biomasa; demostraron que la fuerza de dispersión acústica es un factor de pronóstico igualmente bueno que el peso húmedo, peso seco y valor calórico utilizados en los cálculos de biomasa de algunas especies de peces de interés comercial.

Cuando los blancos individuales son muchos en un volumen determinado, los ecos de estos se combinan y es difícil reconocer un eco individual. Por lo que la medida acústica básica es el coeficiente de dispersión de sonido en un volumen de agua [S_v], se define como

$$S_v = \frac{\sum \sigma_{sp}}{V}$$

Donde la suma de los blancos contribuyen con los ecos en un volumen determinado, σ_{sp} es la sección transversal del reflejo de los organismos, es el parámetro más significativo en términos físicos, se define en términos de la intensidad de las ondas de sonido incidente y su retro-dispersión, (V) es el volumen de agua sonificado. La versión logarítmica de este coeficiente (promedio de dispersión del sonido en un volumen de agua Sv medio) expresada en dB es:

$$S_v = 10 \log_{10}(s_v)$$

El coeficiente acústico del área sonificada (Sa) es una medida de la eficiencia de regreso del sonido dentro de un estrato en la columna de agua [MacLennan et al. 2002] y se expresa como:

$$s_a = \int_{z1}^{z2} S_v dz$$

Se define como la integral de Sv, donde z1 y z2 es el intervalo de profundidad en la que se hace la eointegración, en este caso de 10-300 m de profundidad.

El programa Sonar 4 calcula el Sa, con un factor de área en hectáreas y la correspondiente integración en una capa de 10 m, de la siguiente manera denominada coeficiente de dispersión en área náutica:

$$s_a = 4 \pi \times (100 \text{ m})^2 \times \left(10 \frac{s_v \text{ promedio}}{10}\right) \times [d]$$

Donde la profundidad corresponde al rango de eointegración, para este estudio fue de 10 m .

Para conocer el TS se utilizó la LMD (Longitud de manto dorsal) de los clamares capturados, basándose en la relación TS-LDM calcula por Benoit-Bird *et al.* 2008, para una frecuencia de 120 Khz, definida como:

$$TS = 20 \log_{10} (LMD) - 67.9 \text{ dB}$$

Para conocer el σ_{sp} a partir del TS estimado en campo, se utilizó la siguiente ecuación:

$$\sigma_{sp=10} (TS/10)$$

De tal forma, conociendo la eficiencia del reflejo del sonido de la especie estudiada (σ_{sp}) para diferentes tamaños se puede estimar la densidad de organismos (ρ) en un área o volumen (MacLennan et al. 2002), por medio de:

$$\rho = S_a \sigma_{sp}^{-1}$$

La densidad instantánea estimada es presentada en individuos por hectáreas, ésta fue extrapolada al área de estudio. Para la obtención de biomasa en $t \text{ km}^2$ se utilizó el peso mediano de los calamares capturados. En las estimaciones se asumió una distribución de tallas semejante a las tallas detectadas acústicamente.

4.6 Captura de calamares con poteras

El muestreo se realizó por las noches (19:00- 6:59 hrs). Tres pescadores se posicionaron del lado de estribor del barco. Con el barco al paíro, se lanzaron poteras de 3 y 5 coronas, para atraer y capturar a los calamares. El tiempo de pesca se estandarizó a 15 minutos por pescador. A cada uno de los individuos capturados se les midió la LMD, se pesaron y se registró su sexo y estado de madurez gonadal siguiendo las guías de Lipiński y Underhill (1995).

5. Resultados

En marzo de 2010 se recorrieron 3,569 Km, en Septiembre-Octubre 3,960 Km. En ambos cruceros se abarcaron la zona de las Grandes Islas y el centro del Golfo de California (Figura 7).

5.1 Datos satelitales: TSM y Clorofila *a*

En marzo, la distribución de la temperatura superficial durante las tres semanas de análisis estuvo entre los 15 y 21 °C. Se distinguen dos zonas: una zona más TSM más altas (19 -21°C) localizada en el centro del Golfo y una zona más fría (15- 18 °C) en la zona de las Grandes Islas (figuras 11 *a* y 12 *a*).

En septiembre-octubre, la temperatura fue significativamente más alta que en marzo (Kruskal-Wallis H = 12864.43 DF = 5 P = 0.0005). Las primeras dos semanas registraron las temperaturas más altas, con un intervalo de 26 a 31°C, esta zona se localizó al este del Golfo, a lo largo de la costa de Sonora y Sinaloa. Durante la tercera semana, la TSM bajo, oscilando entre los 23°C y 30°C (figuras 11 *a* y 12 *b*).

La distribución de la chl-*a* durante marzo vario durante las tres semanas (Prueba Kruskal-Wallis H= 88.79, P= 0.0001). La tercera semana registró los valores más altos, por ende fue la más productiva, oscilo entre 0.727 a 18.71 mg m⁻³, se encontró al sur de la Isla Tiburón y al oeste de Sinaloa (figura 17a). La semana que precedió fue la segunda semana, con valores de 0.518 a 13.48 mg m⁻³, se localizó a lo largo de la costa de Sonora, al sur de Guaymas (figura 17b); la primera semana fue la menos productiva con valores de 0.96 a 8.43 mg m⁻³, se ubicó a lo largo de la cosa este de Baja California, en el canal Salsipuedes (figuras 11 *b* y 13 *a*).

La chl-*a* para septiembre- octubre fue menor a la registrada para el mes de marzo (Kruskal-Wallis H = 10252.11 DF = 5 P = 0.0005), tan sólo para la primera semana de muestreo los valores se encontraron entre 0.13 a 2.94 mg m⁻³, la zona más productiva se localizó al sur de la Isla Angel de la Guarda, a lo largo de la costa de Baja California. La segunda semana fue la menos productiva con valores que fueron de 0.31 a 1.7 mg m⁻³, la tercera semana fue la más productiva de este período alcanzando los 6.86 mg m⁻³, localizándose al sur de las Grandes Islas (figuras 11 *b* y 13 *b*).

Figura 11. Distribución de la temperatura superficial del mar (TSM) y la concentración de clorofila -a [Chl-a] durante los dos períodos de muestreo

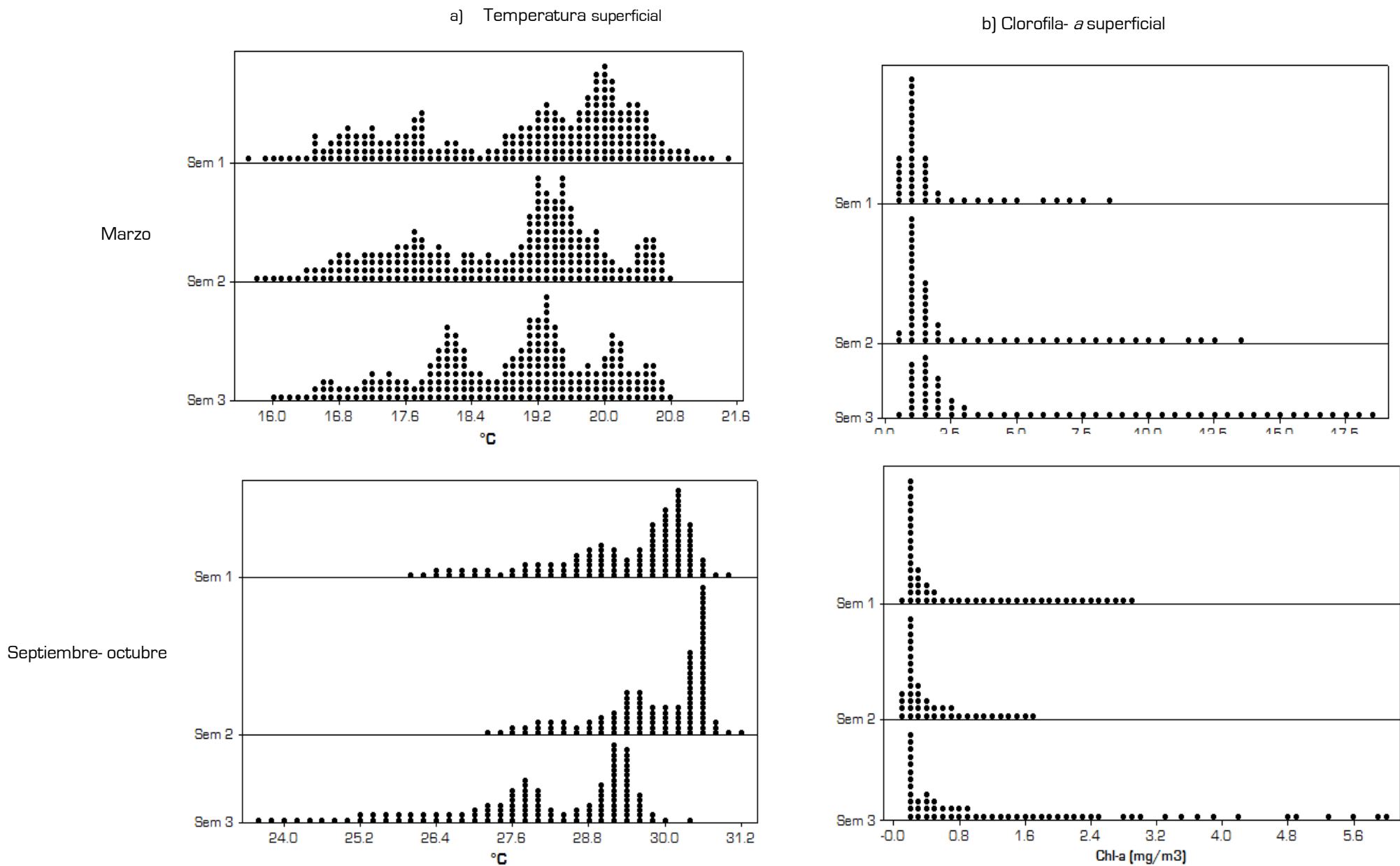


Figura 12. Mapas de distribución de la temperatura superficial del mar (**TSM**) durante las tres semanas de muestreo para cada período: a) marzo, b) septiembre-octubre. Los círculos negros muestran los puntos donde se detectaron blancos de calamar, los círculos rojos la zona donde de capturaron calamares mediante poteras.

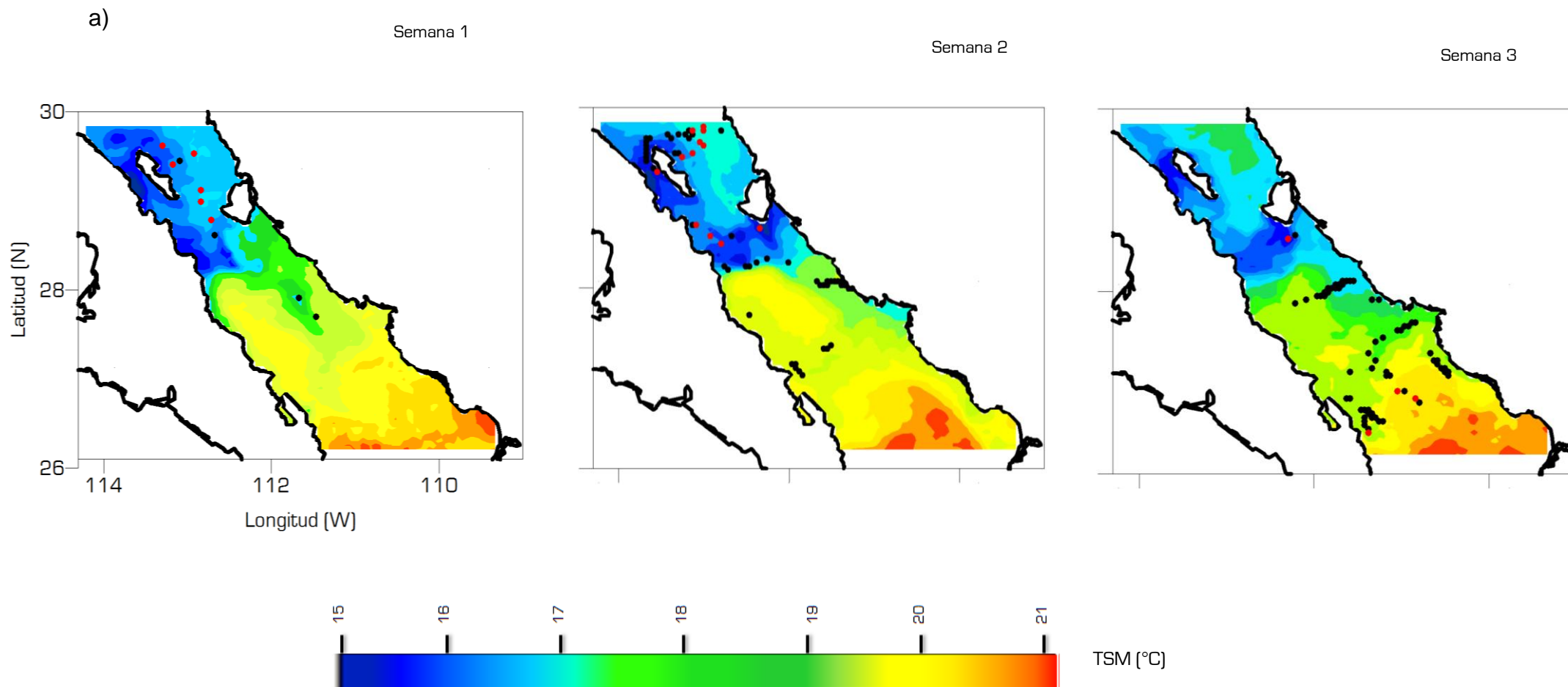
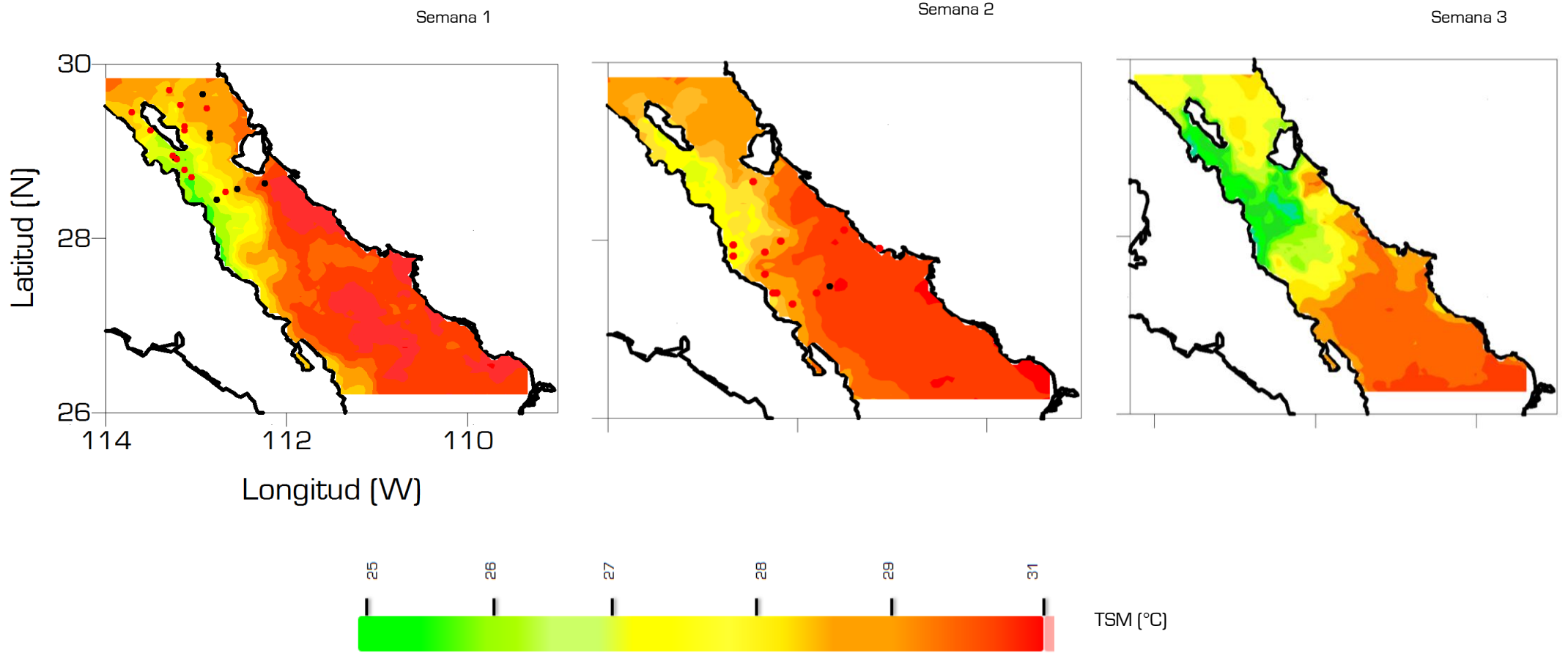


Figura 12. b) TSM para septiembre-octubre



5.2 Hidroacústica

5.2.1 Distribución horizontal

Durante Marzo se analizaron 15,154 segmentos los cuales 199 fueron positivos (1.31%). El mayor número de segmentos positivos se encontró en la tercera semana de muestreo con 116 seg+, seguida de la segunda semana con 79 seg+ y la primera semana con 4 seg+ (figura 12 a).

En septiembre-octubre se analizaron 22,558 segmentos, de los cuales 8 (0.035%) fueron positivos. El mayor número de segmentos positivos se encontraron en la primera semana de estudio con 7 seg+, seguida de la segunda semana con un seg+, en la tercera semana no se detectaron segmentos positivos (figura 12 b).

5.2.2 Asociaciones

Con el fin de saber si los calamares estaban concentrados (agregados) espacialmente, se calcularon las distancias en kilómetros entre los segmentos positivos. Los criterios utilizados para definir los grupos fueron:

- a) Un mínimo de 4 CBA en los segmentos analizados.
- b) Una distancia máxima de 4.6 km entre los segmentos

Basados en estos criterios, se identificaron diez agrupaciones de calamar gigante. La mayoría de las asociaciones se detectaron en el centro del Golfo de California hacia la costa de Sonora, sobre la plataforma continental. Así también, se detectaron dos asociaciones en la parte central hacia la costa de Baja California y uno en la parte central del Golfo. Solo una asociación se detectó al norte de la Isla Ángel de la Guarda (figura 14).

Figura 13. Mapas de distribución de la chl-*a* durante las tres semanas de muestreo para cada período: a) marzo, b) septiembre-octubre. Los círculos negros muestran los puntos donde se detectaron blancos de calamar, los círculos rojos la zona donde de capturaron calamares mediante poteras.

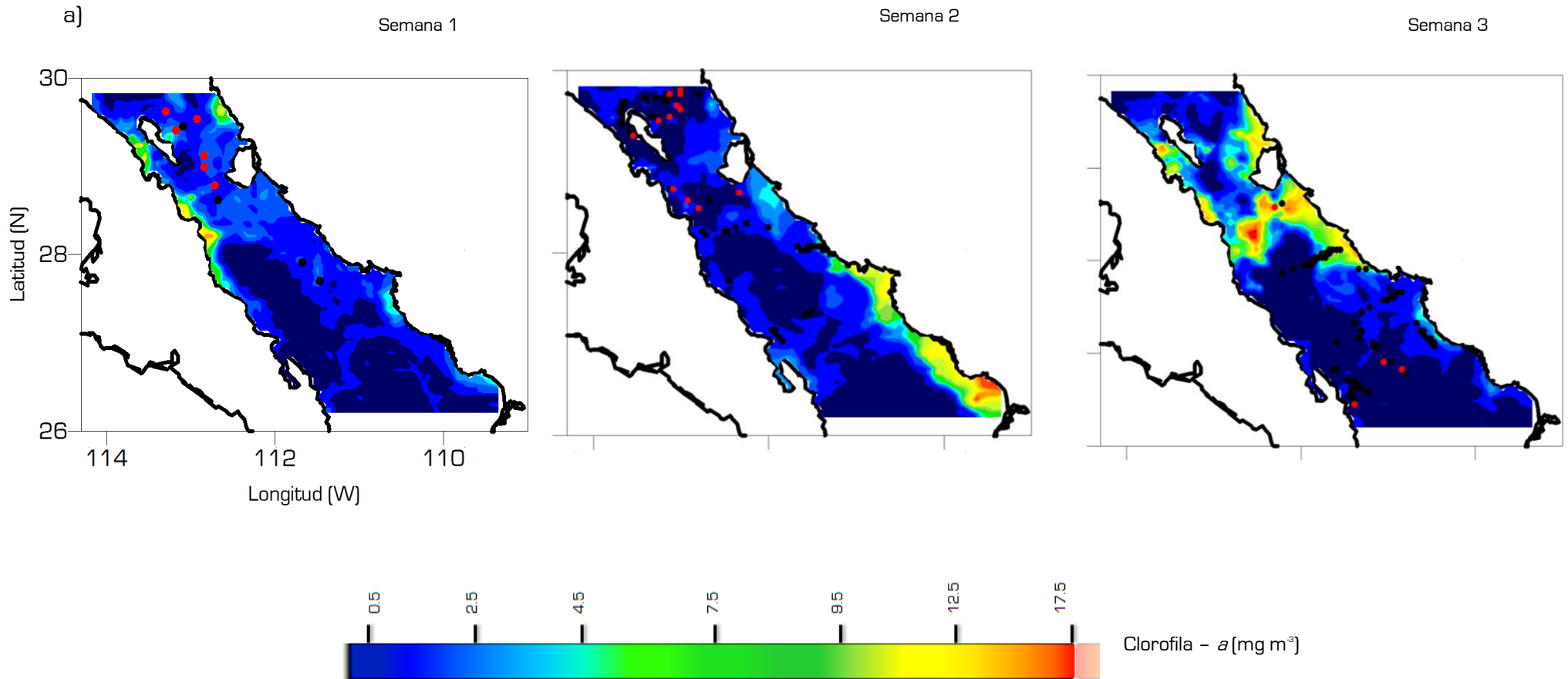
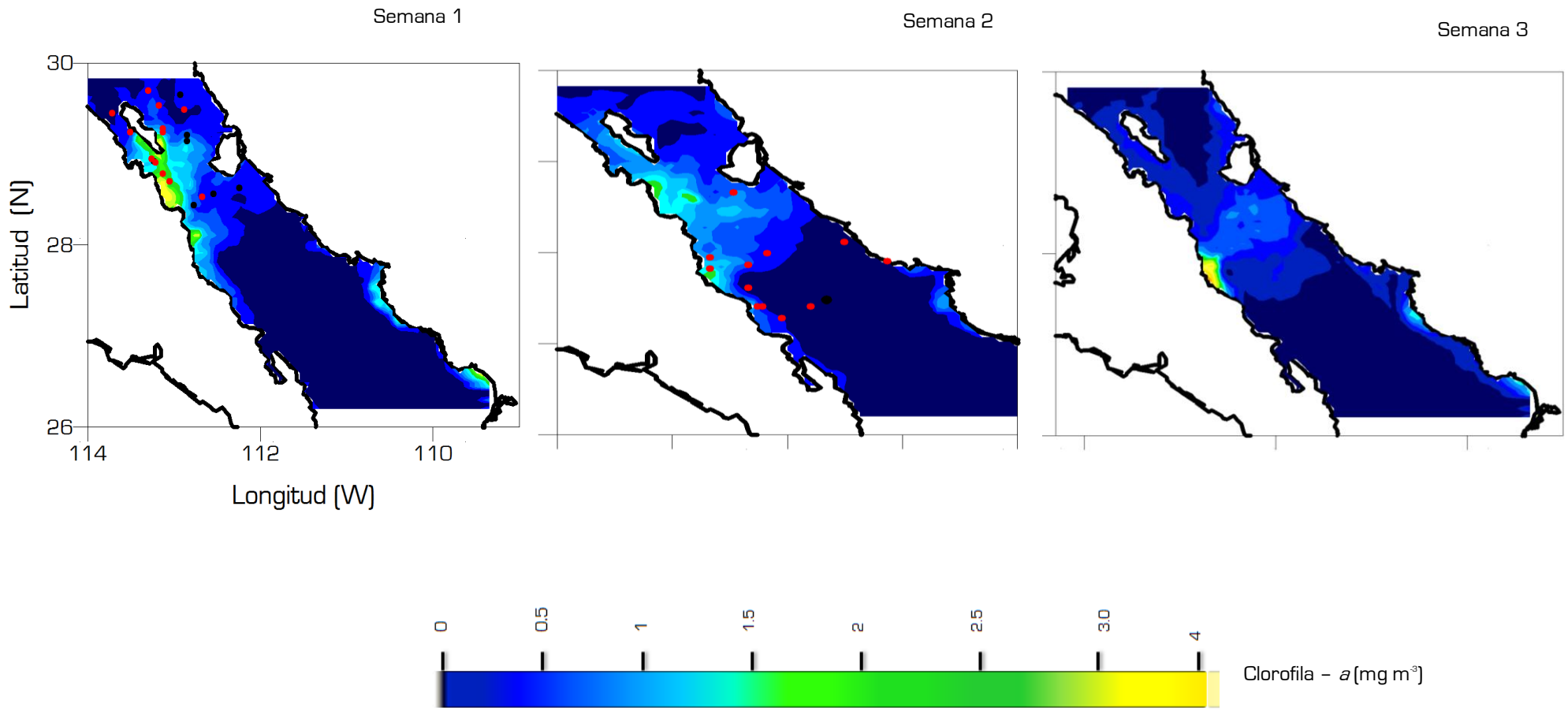


Figura 13. b) Septiembre-Octubre



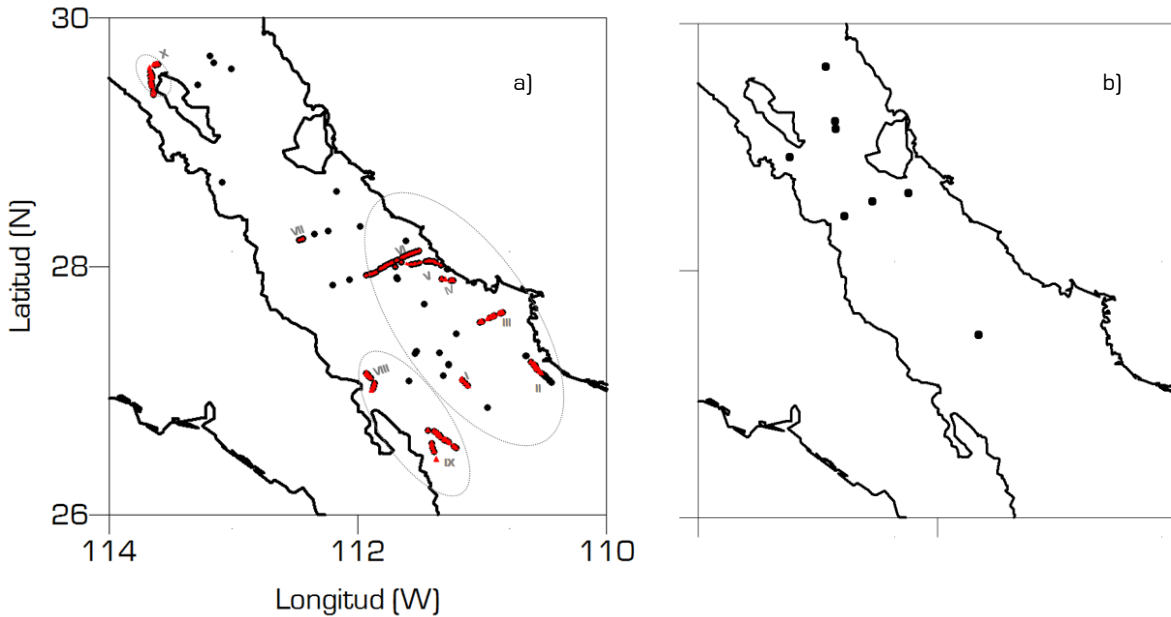


Figura 14. a) Grupos Acústicos (I-X) detectados en marzo (triángulos rojo). Los óvalos muestran el patrón de distribución de los grupos. b) septiembre-octubre. En ambos mapas los puntos negros representan los blancos registrados de *Dosidicus gigas*.

En septiembre-octubre los calamares no se concentraron espacialmente. La mayoría de los seg+ se encontró en la zona de las Grandes Islas (7 seg+), siendo solo un 1+ detectado en el centro del Golfo de California. En la primera semana se pueden distinguir dos zonas de detección una entre Ángel de la Guarda e Isla Tiburón y otra Al sur de la zona de las Grandes Islas.

5.2.3 Distribución vertical

En marzo, el 90% de los CBA's se registraron de día (específicamente entre las 8 y 16 h) entre los 20 y 170 m. Los segmentos positivos registrados de noche (específicamente entre las 19.00 y 1.00 h) se encontraron en entre los 10 y 60 m de profundidad (figura 15).

Durante septiembre-octubre el 87% de los ecos se detecto de día (específicamente entre las 7 y 16 h) entre los 20 y 100 m. Sólo un segmento positivo se detectó de noche (a las 23 h) a una profundidad de 30 m.

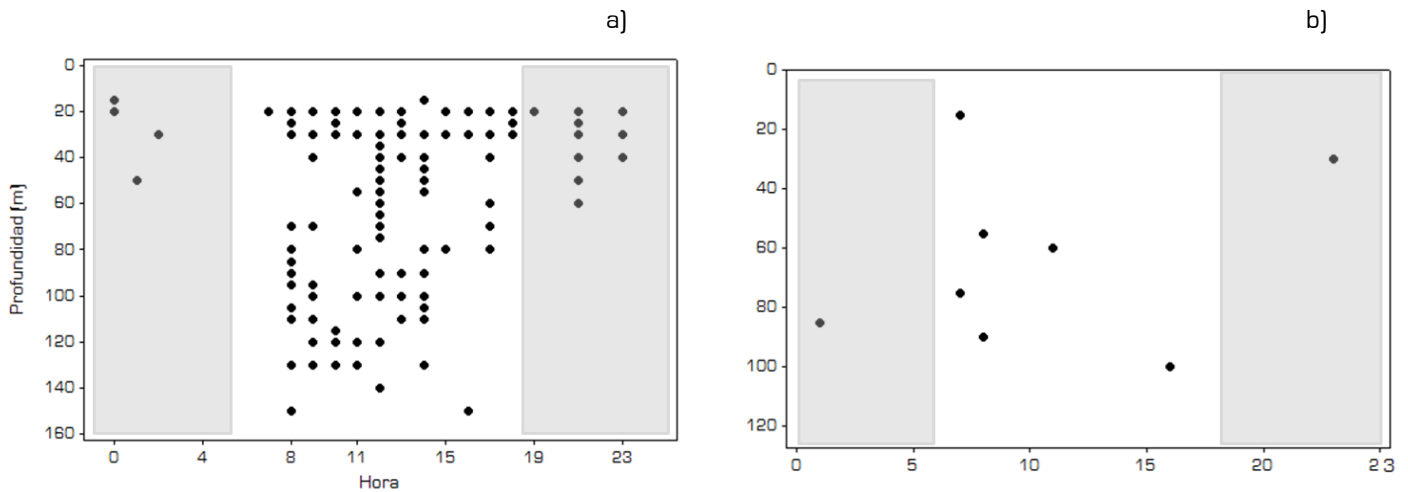


Figura 15. Distribución vertical de los blancos acústicos de calamar. a) marzo, b) septiembre-octubre.

5.3 Distribución de segmentos positivos relacionados con variables ambientales

5.3.1 Datos satelitales: TSM y chl-a

En marzo, los blancos acústicos detectados durante la primera semana de estudio se encontraron en un intervalo de clorofila que osciló de 1.043 a 2.722 mg m⁻³ y a una TSM que varió entre los 16.9 a 17.8 °C. En la segunda semana los blancos se encontraron a una concentración de chl-*a* que fue de 0.510 a 10.3 mg m⁻³ y a una TSM que osciló de los 16 a 19°C. En la tercera semana la detección de los blancos osciló entre los 18 y 19.8 °C y a una chl-*a* que fue de 0.82 a 11.33 mg m⁻³ (figuras 12*a*, 13*a* y 16).

Durante septiembre, los blancos acústicos detectados durante la primera semana de estudio se encontraron en un intervalo de clorofila entre 0.39 y 1.8 mg m⁻³ y a una TSM que varió entre los 27 y 29.8 °C. En la segunda semana, la detección de los blancos oscila entre los 27 y 30.61 °C y a una chl-*a* que fue de 0.15 a 0.93 mg m⁻³. Por su parte, la tercera semana no registró blancos asociados a calamar (figuras 12*b* y 13*b* y 17).

5.3.2 Perfiles verticales

Para describir la distribución vertical de temperatura, clorofila y oxígeno disuelto, asociado a cada grupo de calamares detectados acústicamente se utilizó la

estación con CTD más cercana a cada uno de los grupos (marzo) o de las detecciones aisladas (septiembre-octubre).

En marzo, el grupo de calamares detectados en la costa de Sonora se encontró dentro de un intervalo de profundidad que fue de los 20 hasta los 140 m, donde la mayoría de los blancos se localizaron en los máximos valores de clorofila, con valores entre 0.3 a 7.1 mg m⁻³. (figuras 14 y 16a).

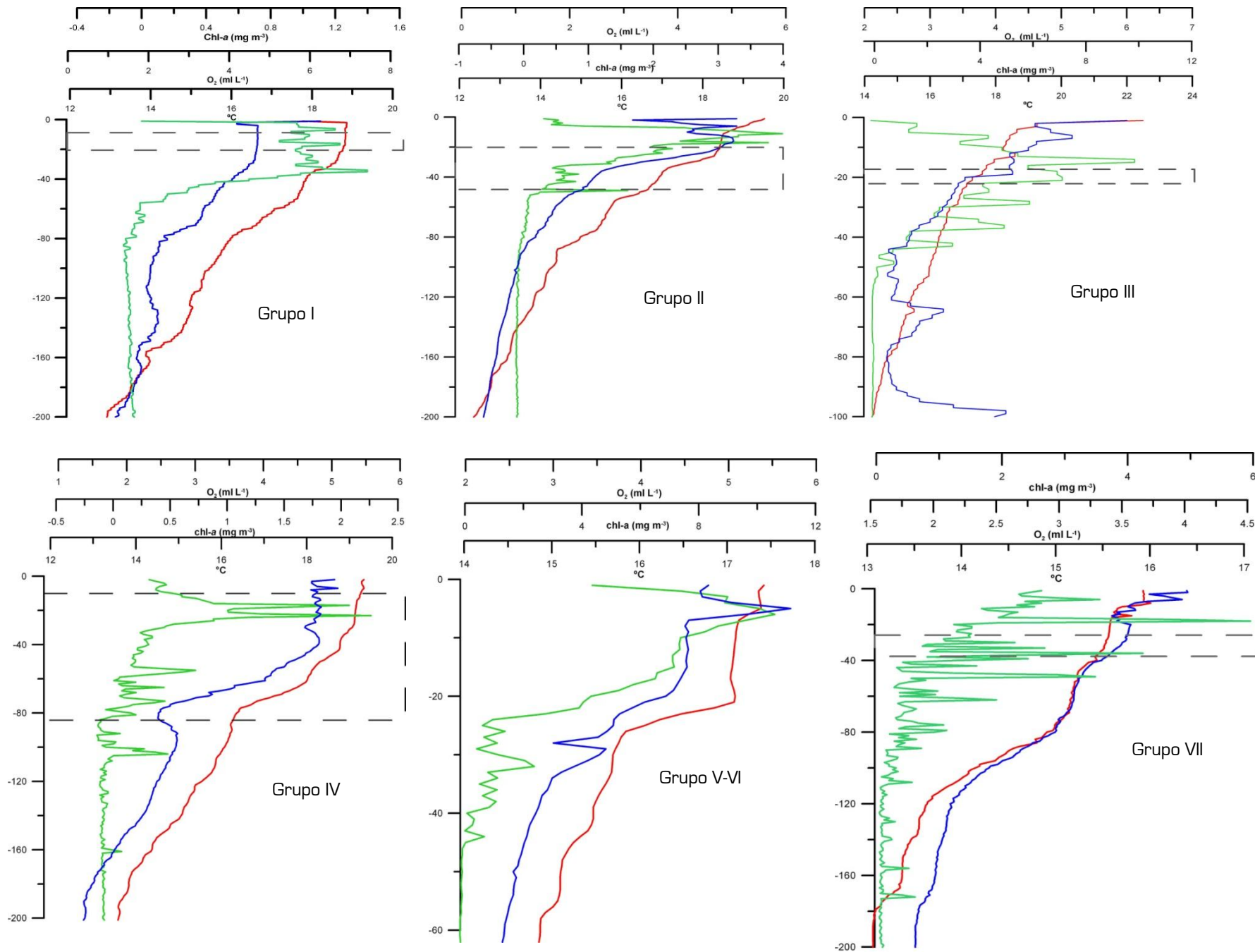
La distribución de la temperatura en la que se detectaron los blancos de calamar fue de 16 a 19 °C, sin embargo, para el grupo acústico ubicado al norte de Guaymas, la temperatura fue menor, de 13 a 15 °C. La termoclina se encontró entre 10 y 40 m, siendo imperceptible para el grupo localizado al norte de Guaymas. En cuanto a los valores de oxígeno disuelto, los blancos se encontraron en altas concentraciones de oxígeno, los valores oscilaron entre 2 y 5.5 - mL L⁻¹.

El grupo acústico de calamares detectados en la costa de la península de Baja California y centro del Golfo, se encontraron en un intervalo de profundidad que osciló entre 10 y 90 m, donde los valores de clorofila fueron de 0.5 a 1.2 mg m⁻³ (figuras 14 y 16 b).

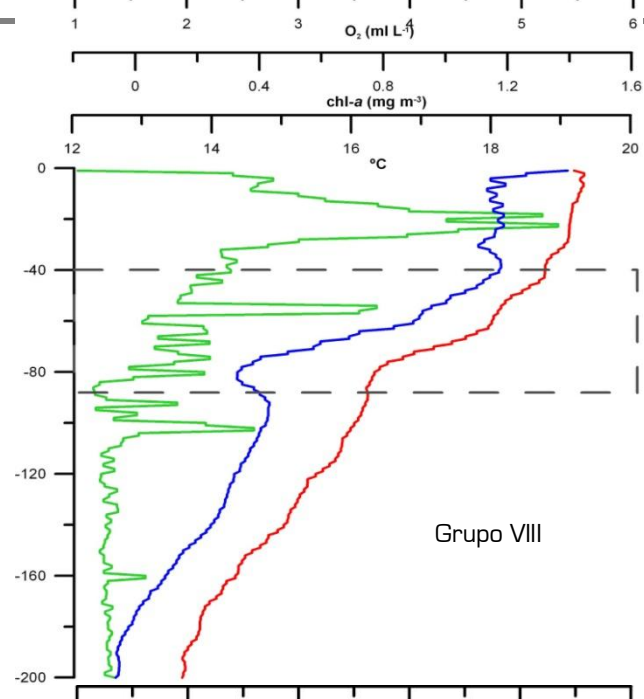
La distribución de la temperatura en la que se detectaron los blancos fue de 16 a 19°C, igual que el grupo localizado en la costa de Sonora. La termoclina varió, localizándose entre los 8 y 72 m. En cuanto a los valores de oxígeno disuelto, los blancos se encontraron en altas concentraciones de oxígeno, los valores se encontraron entre 2 y 4.9 mL L⁻¹.

El grupo acústico localizado al norte de la isla Ángel de la Guarda presentó dos estratos de profundidad en la cual se detectaron los blancos de calamar, el primero de los 25 a 40 m y el segundo de los 80 a 130 m. La clorofila para el primer estrato fue de 0.6 a 1.7 - mg m⁻³, mientras que para el segundo fueron valores nulos. La temperatura para el primer estrato se mantuvo entre los 16.2 y 16.7 °C, mientras que para el segundo estrato entre 15 y 15.5 °C; la termoclina

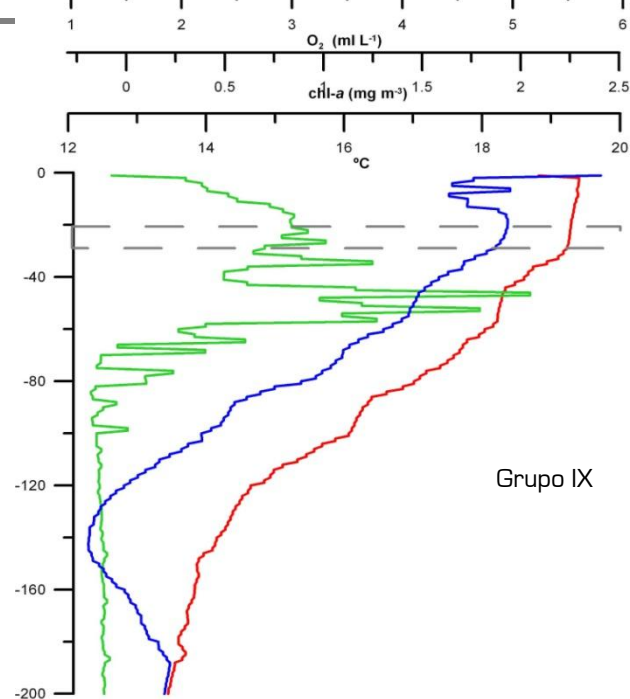
Figura 16. Perfiles verticales en donde se detectaron calamares. La línea roja representa la temperatura, la azul el oxígeno disuelto y la línea verde la clorofila. Los rectángulos punteados señalan la profundidad a la cual se detectaron los grupos acústicos; los grupos son indicados en la figura 14.



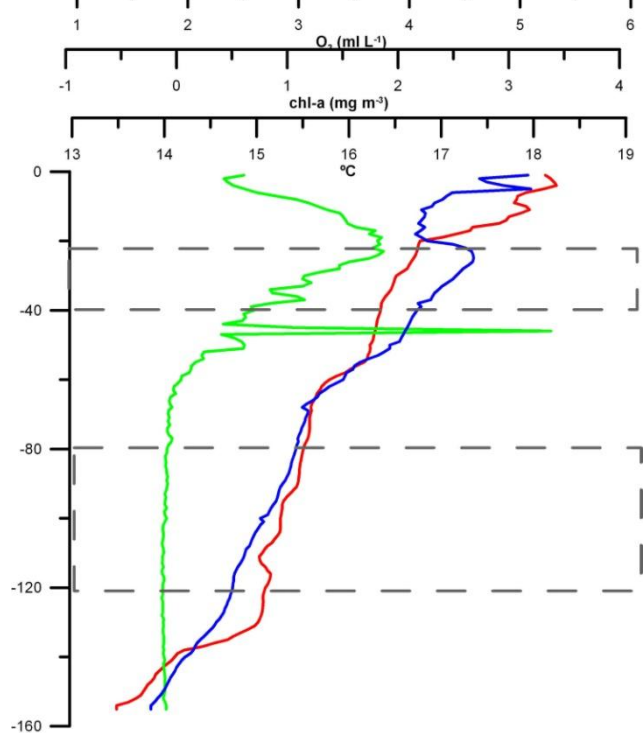
Err-detección de calamar gigante en el Golfo de California asociada a las condiciones oceanográficas



Grupo VIII



Grupo IX



X

se presentó a los 20 m. El oxígeno disuelto para el primer estrato osciló entre 3 y 4.5 ml L⁻¹, en el segundo fue de 2.2 a 2.9 ml L⁻¹ (figuras 14 y 16 c).

Durante septiembre, los blancos detectados al sur de las Grandes Islas se encontraron en un intervalo de 20 a 100 m, a una clorofila que osciló entre 0.12 y 0.84 mg m⁻³. La distribución de la temperatura varió entre los 16 y 27 °C. La concentración de oxígeno disuelto se mantuvo entre 1 y 3 ml L⁻¹

En un análisis de la correlación entre la fuerza de blanco (FB) y las tres variables oceanográficas, para los dos períodos de estudio, se encontró asociación entre la FB- O₂, con los ecos de *D. gigas* en aguas con altas concentraciones de oxígeno disuelto, sólo para el mes de marzo. En septiembre-octubre no se encontró ninguna relación entre la presencia del calamar y las variables.

5.3.3 Distribución de capturas de los calamares capturados y su relación con TSM y clorofila satelital.

Durante la primera semana de muestreo en marzo, las capturas se encontraron entre 1.32 a 1.85 mg m⁻³ y a una TSM de 17.16 a 19.22°C, con un total de 27 capturas. En la segunda semana, se realizó el mayor número de capturas, con un total de 55 calamares; se pescaron a una temperatura que varió de 15 a 18 °C y en un intervalo de chl-*a* de 0.72 a 2.1 mg m⁻³. En la tercera semana sólo se capturaron siete calamares, a una temperatura que osciló entre los 16 y 20 °C, y a una clorofila de 1 a 17 mg m⁻³ (figura 17).

En septiembre-octubre, el mayor número de capturas se hizo en la primera semana de muestreo con 42 calamares, la temperatura estuvo entre los 27 y 29.8 °C y la clorofila osciló entre 0.39 y 1.8 mg m⁻³; mientras que en la segunda semana se pescaron 34 osciló entre los 37 y 30°C y la concentración de clorofila superficial de 0.15 a 0.93 mg m⁻³. En la tercera semana no se capturó ningún calamar (figura 18).

Figura 17. Mapas de contornos del mes de marzo: a) Datos de TSM y Chl-a registrados durante todo el derrotero, b) Ecos de calamar asociados a TSM y Chl-a.

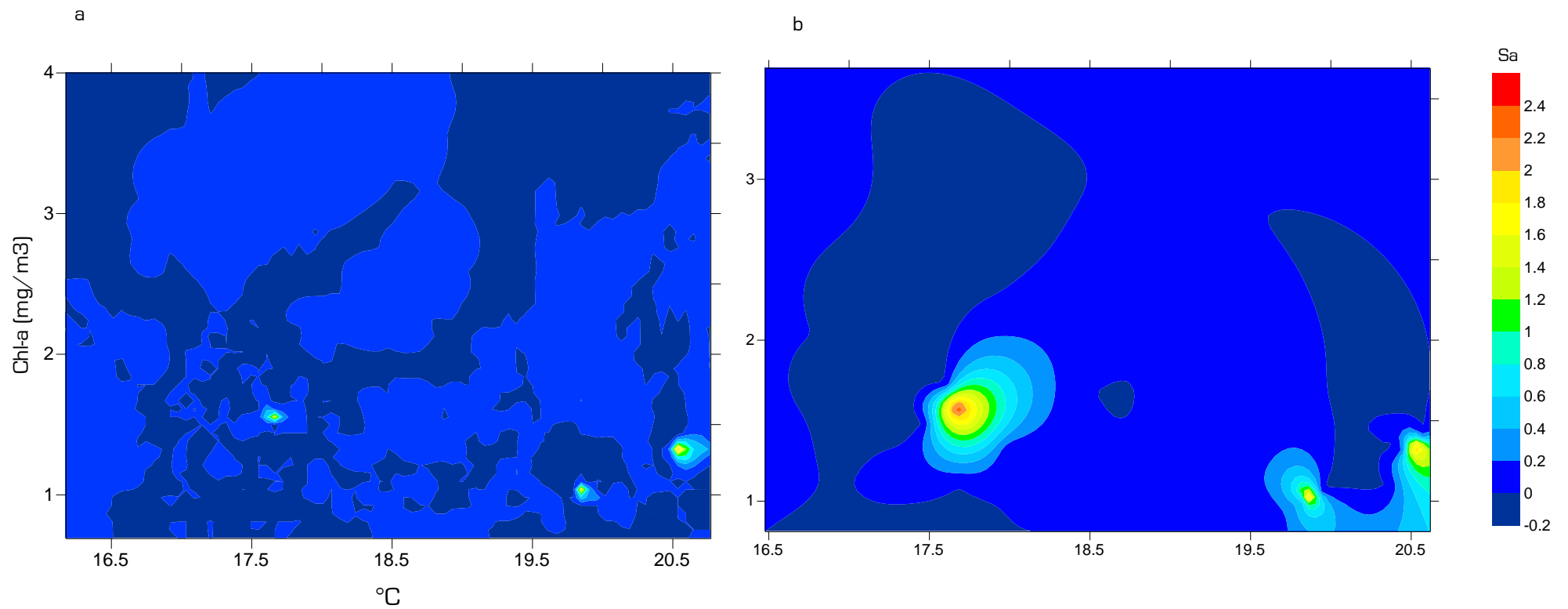
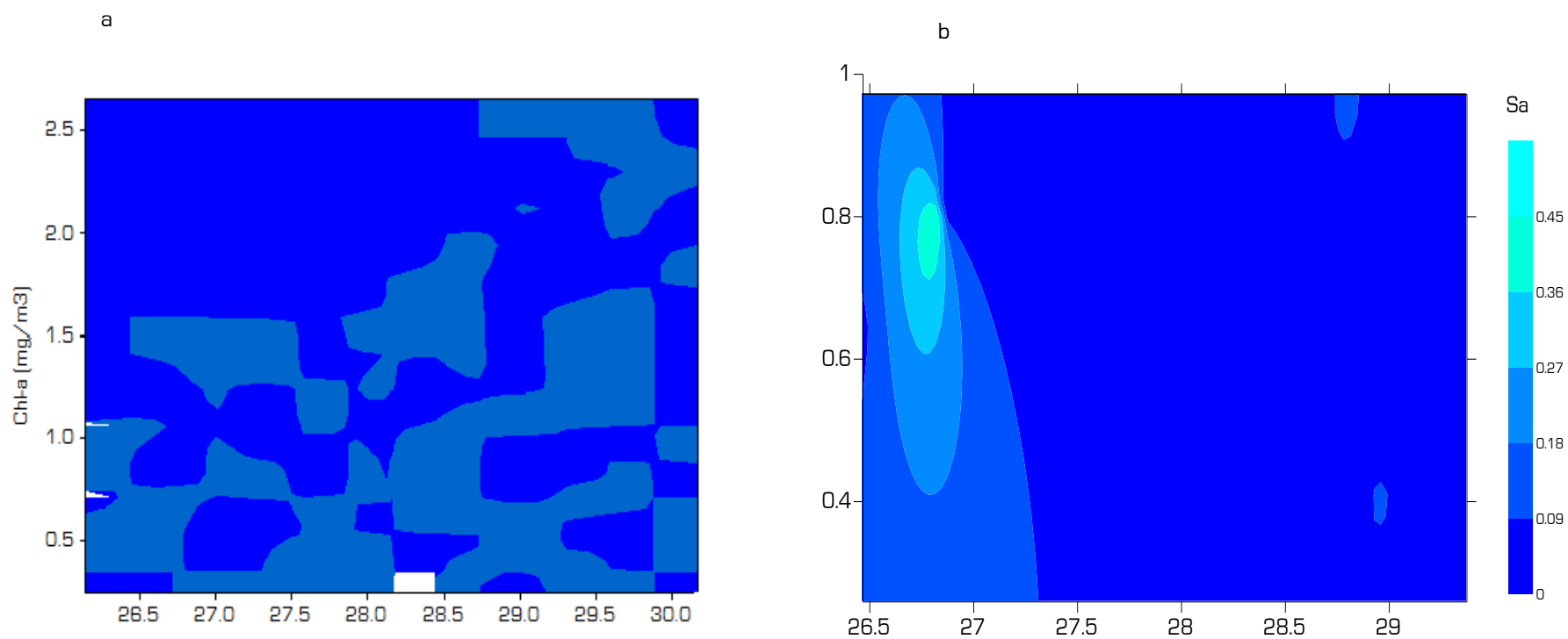


Figura 18. Mapas de contornos del mes de septiembre-octubre: a) Datos de TSM y Chl-a registrados durante todo el derrotero, b) Ecos de calamar asociados a TSM y Chl-a.



5.4 Frecuencia de talla, peso y estado de madurez sexual de los calamares capturados con potera

En marzo se capturó un total de 89 calamares a 67 de ellos se les midió la longitud de manto, sexo y estadio de madurez. La longitud del manto dorsal presento dos modas centradas en 27.5 y 70 cm. Una de organismos de tallas menores (22 a 27 cm de LMD) y otra de mayor abundancia y talla (44 a 82 cm LMD) (figura 19 a).

El 95% de los machos presentó madurez gonadal (estadios III a V) con una LMD que osciló entre los 50 y 70 cm, sólo el 5% presento estadio de madurez II y III a una talla de 50 a 67 cm. Para este período el 53% de las hembras presentaron estadios inmaduros (I y II), con una LMD de 56 a 70 cm, el 47% presento estadios de madurez gonadal III - V, con tallas de 66-78, siendo la excepción, un calamar con estadio III y una LDM de 22 cm (Tabla 2).

| Madurez hembras | Marzo | | | Septiembre-Octubre | | |
|--------------------|------------|--------------|--------------|--------------------|--------------|--------------|
| | Capturados | Porcentaje % | LDM promedio | Capturados | Porcentaje % | LDM promedio |
| Inmaduros (I-II) | 23 | 53.4 | 63.6 | 22 | 81.4 | 45.7 |
| Madurando (III-IV) | 8 | 18.6 | 68.3 | 2 | 7.4 | 45.22 |
| Maduro (V) | 12 | 27.9 | 74.17 | 3 | 11.1 | 78.33 |
| Total | 43 | 100 | *** | 27 | 100 | *** |
| Madurez machos | | | | | | |
| Inmaduros (I-II) | 1 | 4.16 | 97 | 2 | 22.2 | 33.6 |
| Madurando (III-IV) | 3 | 2.5 | 62.4 | 2 | 22.2 | 41.25 |
| Maduro (V) | 2 | 83.3 | 65.83 | 6 | 56.6 | 66.8 |
| Total | 24 | 100 | *** | 10 | 100 | *** |

Tabla 2. Estado de madurez de hembras y machos de calamar capturados durante los dos períodos de muestreo.

Durante septiembre-octubre la captura total fue de 77 calamares, de los cuales a 48 se midió la longitud de manto, se determino sexo y estadio de madurez sexual. La LDM presento una distribución tri-modal (centradas en 22.5, 42.5 y 72.5 cm) (19 b).

En este período el porcentaje de hembras maduras disminuyó a 39% con tallas de los 20 a 80 cm, el 61% de hembras inmaduras sólo registró estadio II con tallas

que oscilaron de los 31-47 cm. El 80% machos mostraron madurez gonadal con una LDM de 40-68 cm, mientras que los machos inmaduros (estadio II) presentaron tallas de 30 cm (Tabla 2).

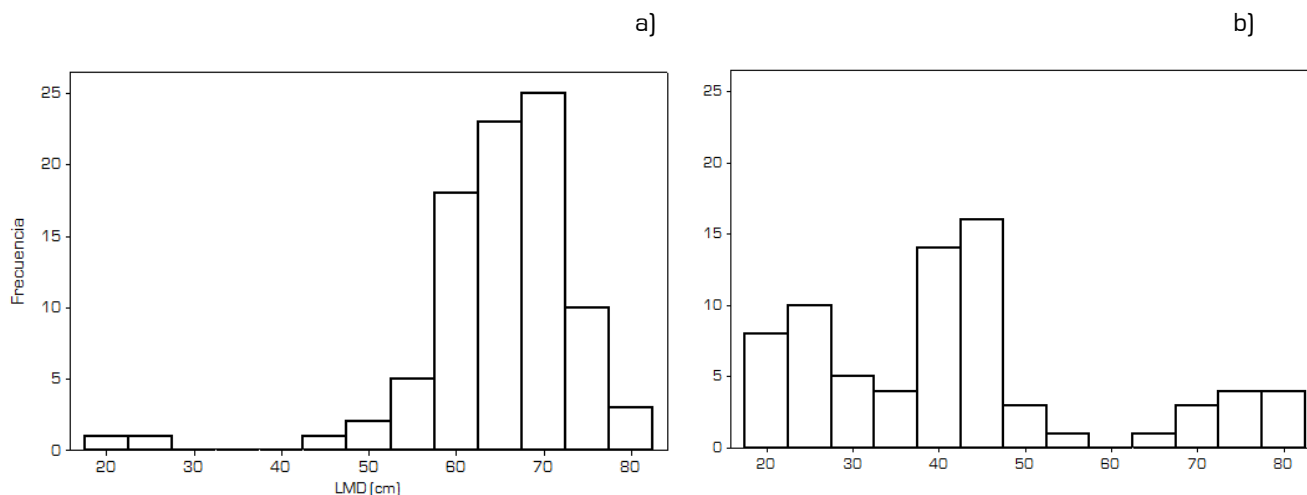


Figura 19. Longitud de manto dorsal (LDM) de los calamares capturados, a) marzo, b) septiembre-octubre

5.5 Eco-integración

5.5.1 Estimación de las áreas de distribución

Siguiendo la distribución regional de los grupos de calamares detectados por medio de hidroacustica, el siguiente paso fue delimitar y estimar el área para la estimación de abundancia y biomasa instantánea. El cálculo de área para cada región se realizó basándose en los datos de la página web MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectrometre <http://modis.gsfc.nasa.gov/>). MODIS provee una matriz de datos de una zona seleccionada, dicha matriz se representa en forma de celdas (puntos), cada celda tiene un área de 16 km (4Km*4Km). Una vez definidos las regiones, se seleccionaron las celdas correspondientes a cada estrato, a partir del número de celdas se obtuvo el área (figura 20).

Una vez establecida el área (ha) de cada estrato, se calculó el grado de cobertura por B/O El Puma definido por Aglen (1989) como:

$$GRC = D / \sqrt{A}$$

Donde D es la longitud del área de muestreo (derrotero) y A es el tamaño del área de extrapolación. Ese análisis es una medida de intensidad de muestreo en términos de la longitud recorrida de un crucero en un área determinada. Aglen sugiere que los valores de GRC mayores a 4 se deben de utilizar para tener una estimación de abundancia confiable.

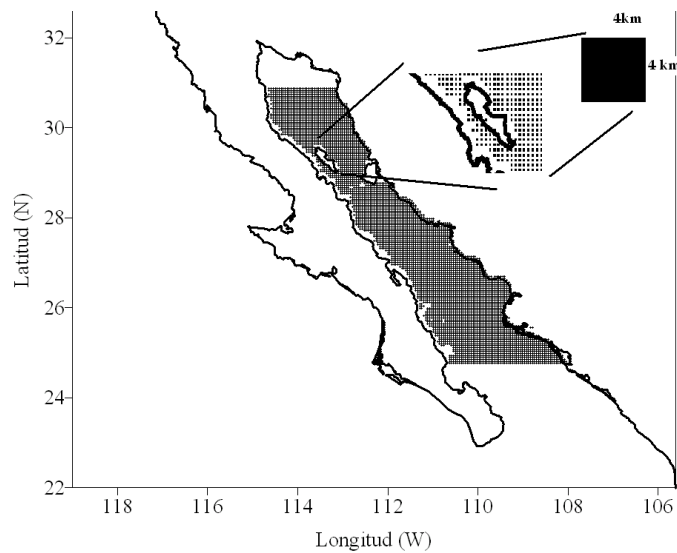


Figura 20. Proceso de selección de las celdas de MODIS en el área de estudio.

Se identificaron tres regiones en el Golfo de California para las estimaciones de abundancia y biomasa, a partir de la distribución de fuerzas de blanco asociadas al calamar gigante (figura 21).

Para ambos periodos de muestreo, los estratos se definieron como sigue:

- Región A: ubicada al sur de la zona de las grandes islas, en la parte central del GC
- Región B: localizada al norte de la isla Tiburón y al este de la Isla Ángel de la Guarda.

- Región C: localizada al oeste de la Isla Ángel de la Guarda, en el Canal de Salsipuedes.

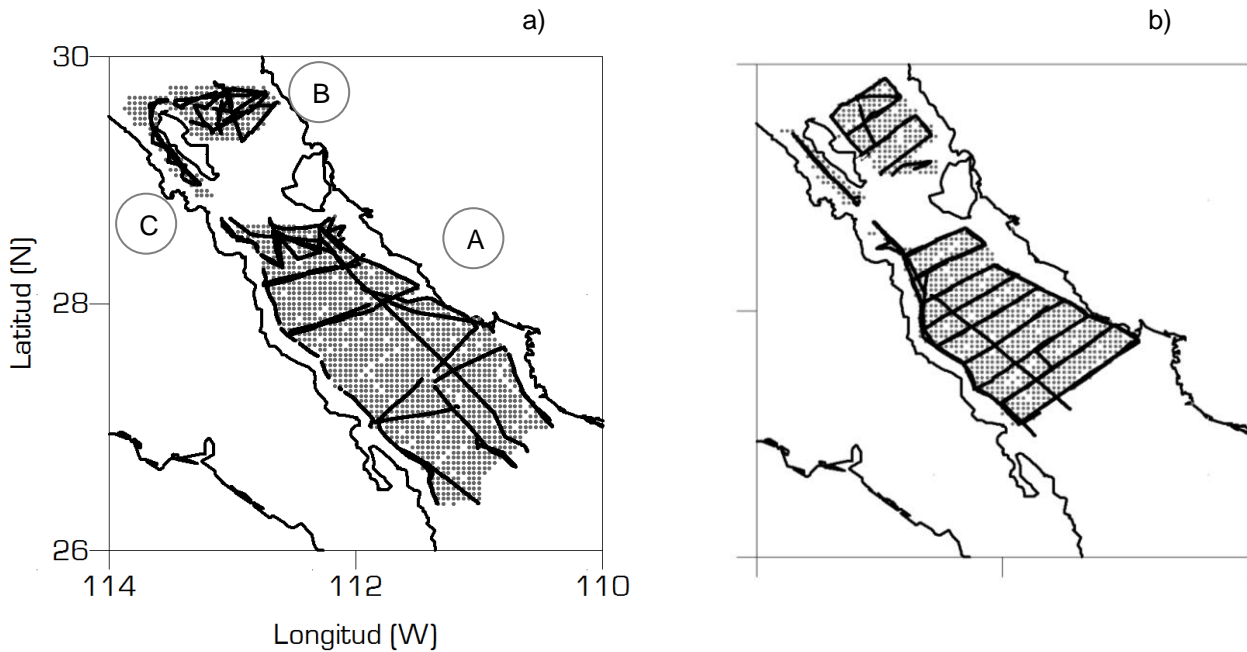


Figura 21. Regiones definidas según los agrupamientos acústicos a través de las celdas de MODIS, a) marzo, b) septiembre-octubre.

El área de cada región para los diferentes periodos de estudio varió respecto a la longitud del muestreo. Para marzo el área total de los tres estratos fue de 27,568 km², mientras que para septiembre-octubre fue de 19,280 km². El grado de cobertura para las tres regiones en ambos cruceros fue mayor a 4 [Tabla 3].

| Marzo | | | |
|--------------------|------------------------------------|---|--------------------|
| Región | Área muestreada (km ²) | Área total por estrato (km ²) | Grado de cobertura |
| A | 2 402.022 | 24,128 | 15.46 |
| B | 541.910 | 3,520 | 9.13 |
| C | 110.658 | 1072 | 4.37 |
| Septiembre-Octubre | | | |
| A | 2 964.734 | 14,240 | 24.8 |
| B | 515.261 | 4,080 | 8.06 |
| C | 305.056 | 960 | 9.8 |

Tabla 3. Estimación de las áreas (km²) y grado de cobertura (GCR) por región.

5.5.2 Frecuencias de tallas, sigma (σ_{sp}) y fuerza de blanco estimada

De acuerdo a la LDM de los calamares capturados se estimó la fuerza de blanco y sigma de los calamares, esto fue calculado para cada región en ambos cruceros.

En la región A se capturaron individuos de tallas pequeñas de 22 a 26 cm de LDM y tallas grandes de 48 a 76 cm de LDM. La estimación de las FB's de acuerdo a la ecuación TS -LMD propuesta por Benoit-Bird *et al.* (2008) fue entre -41 y -30. dB.

Los individuos de mayor tamaño, se pescaron en las regiones B y C. En la región B se pescaron calamares grandes, con tallas de 44 a 80cm de LDM, con una FB estimada de -35 a -29 dB. En la región C se capturaron calamares con tallas de 50 a 80 cm, la FB estimada entre -33 a -29.

En marzo, el σ_{sp} para cada región fue muy variable, siendo la región A quien presento la mayor amplitud de valores, con una mediana estimada de 0.000644 m², la región B con 0.000701 m² y la región C con una mediana de 0.000706 m² [figura 22 a).

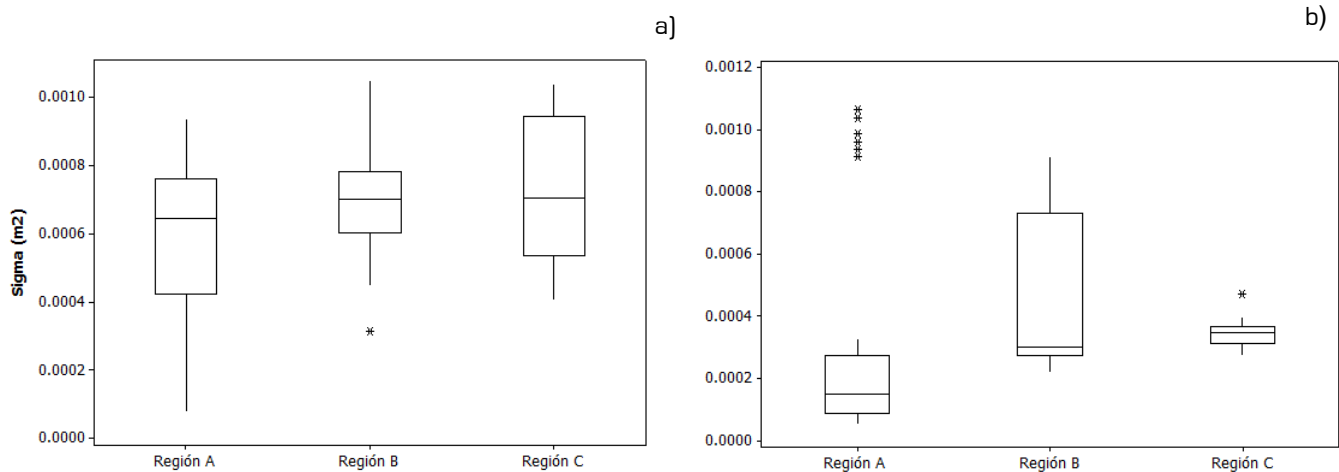


Figura 22. Sigma (σ_{sp}) estimado por región, a) marzo, b) septiembre-octubre.

En septiembre-octubre, en la región A se capturaron calamares con tallas de 18 a 81 cm, con una fuerza de blanco estimada de -42 a 29 dB, en la región B se

pescaron individuos de 37 a 75 cm con una FB de -36 a -30 dB y en la región C tallas de 40 a 54 cm con FB estimadas de -35 a -33 dB.

El σ_{sp} estimado fue variable, La región A presentó un sigma con un valor mediano de 0.000151 m², el estrato B 0.0003 m² y el estrato C 0.00034 m² (figura 22 b).

5.5.3 Estimación de abundancia y biomasa instantánea

En marzo, la biomasa total estimada de calamar gigante integrada por las tres regiones fue de 45,350 toneladas (t) en un área total de 27,568 Km². La región A registró la mayor biomasa instantánea con 32,476 t y una abundancia de 31.9 ind ha⁻¹, seguido de la región B con 11,343 t y 71.33 ind ha⁻¹ y la región C con 1531 t y 18 ind ha⁻¹ (figura 23 y tabla 4).

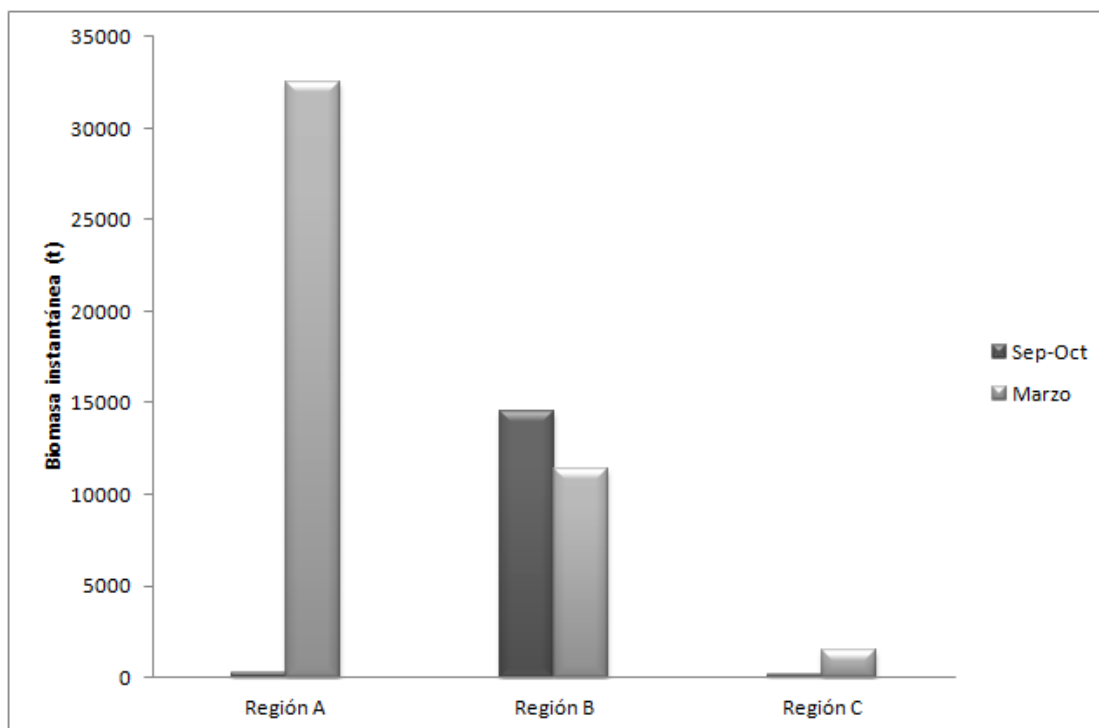


Figura 23. Estimación de biomasa instantánea por región y período

Para este período CONAPESCA reportó capturas en Guaymas y Santa Rosalía por 7,705 t, el equivalente a una quinta parte de lo estimado por métodos acústicos.

| Región | Marzo | | | Septiembre-Octubre | | |
|--------|-----------------|---------|-----------------|--------------------|---------|-----------------|
| | Límite inferior | Biomasa | Límite superior | Límite inferior | Biomasa | Límite superior |
| A | 4,946 | 32,476 | 163,521 | 13 | 271 | 10,384 |
| B | 1,638 | 11,343 | 16,122,125 | 164 | 14,511 | 17,423 |
| C | 444 | 1,531 | 3,625 | * | 191.934 | * |

Tabla 4. Estimación de abundancia de calamar gigante

Durante septiembre-octubre, la biomasa acústica conformada por las tres regiones fue de un total de 14,974 t (Tabla 5) en un área de 19,280 Km², el equivalente a una tercera parte de lo estimado para el mes de marzo. La región B registró la mayor biomasa con 14,511 t y una abundancia de 313.466 ind ha⁻¹, seguido de la región A con 271 t y una abundancia de 53.02 ind ha⁻¹ y la región C con 191 t y una abundancia de 1377 ind ha⁻¹.

La suma de las estimaciones de biomasa acústica, para ambos períodos de estudio da un total de 60,3424 t. Por su parte CONAPESCA, para el año 2010 reporta un total de 66,464 t.

| Marzo | | | |
|---------|---------|-----------------|-----------------|
| Región | Mediana | Límite superior | Límite inferior |
| A | 31.847 | 12.428 | 71.462 |
| B | 71.33 | 27.1 | 2689.02 |
| C | 18.4136 | 9.915 | 28.3286 |
| Sep-Oct | | | |
| A | 53.026 | 11.931 | 328.099 |
| B | 313.466 | 33.347 | 343.479 |
| C | 1377.9 | 1377.9 | 1377.9 |

Tabla 5. Abundancia estimada (ind ha⁻¹) de las tres regiones para ambos períodos de estudio.

6. Discusión

Este es el primer trabajo que utiliza la hidroacústica con una embarcación en movimiento para estudiar la distribución y la abundancia del calamar gigante en el Golfo de California. Los estudios hasta ahora realizados con el mismo método, fueron hechos cuando las embarcaciones estaban detenidas y en condiciones controladas (Benoit-Bird *et al.* 2008, Benoit-Bird y Gilly, 2012).

El uso de la hidroacústica presenta ventajas de cobertura espacial y relativa rapidez de análisis de información sobre métodos convencionales (producción de huevos, número de picos de calamar en estómagos de mamíferos marinos para estimar abundancia, captura por unidad de esfuerzo CPUE para estimar el tamaño de la población, entre otros). En este estudio, la hidroacústica permitió la detección del calamar gigante, estimando la abundancia y biomasa de este cefalópodo, cubriendo el centro del Golfo de California, permitiendo conocer su distribución vertical y horizontal.

El uso de una frecuencia de 120 Khz permitió separar los blancos de calamar de otros organismos pelágicos, aunque la identificación se dificultó cuando múltiples especies eran sonificadas. La combinación de transductores de alta y baja frecuencia (multi-frecuencias) es una herramienta más robusta para discriminar e identificar los blancos (Jurvelius *et al.* 2008, Horne 2008).

En marzo, la mayoría de las detecciones se concentraron en la costas de Sonora, cerca de Guaymas y de Baja California, cerca de Santa Rosalía, como se reportan las capturas de la pesquería de este cefalópodo (CONAPESCA 2010; Markaida, 2001). Durante este período, se observaron diez agregaciones acústicas de calamar. Las agrupaciones se forman durante la noche cuando los individuos migran a aguas superficiales para alimentarse del micronecton mesopelágico (Nesis 1970, Gilly *et al.* 2006, Benoit-Bird y Gilly 2010). Sin embargo, los grupos detectados parecieron no ser atraídos por la potera, ya que aún cuando eran observados en superficie y registrados con la cámara submarina no eran capturados. Inclusive se usaron anzuelos para su captura pero sin éxito. La formación de los grupos pudo deberse a causas ajenas a la alimentación, como pudiera ser la reproducción. El carácter reproductivo de la especie avala esta sugerencia, aunque no hay evidencias concretas. Se ha observado que los calamares habitan por varios días un área determinada, formando grupos para después desplazarse a otras zonas (Bazzino *et al.* 2010), esto requiere mayor investigación. Durante el crucero de septiembre-octubre no se observó la formación de agregaciones, lo cual puede estar relacionado con ambientes menos productivos (concentraciones bajas de Chl-*a*). Durante el crucero de septiembre-octubre no se observó la formación de agregaciones, lo cual puede estar relacionado con ambientes menos productivos, los ecos de detectaron en la zona de las Grandes Islas.

Los valores de clorofila *a* fueron comparativamente más altos en marzo que en septiembre, mientras que la temperatura fue más alta en septiembre-octubre (figura 24).

Se ha postulado que el calamar gigante se concentra en zonas de surgencia, alternas al centro del Golfo de California, en ambientes fríos y productivos (Waluda et al. 2006, Nigmatullin *et al.* 2001, Nesis 1982). Sin embargo, no fue lo observado en este estudio. La distribución de los blancos de calamar se localizó en zonas productivas (aunque no las más productivas) y en un intervalo de temperatura amplio, lo cual sugiere que éste responde a la dinámica oceánica, buscando el nicho óptimo para su supervivencia.

En marzo el mayor número de ecos de calamar se registró en regiones con valores altos de Chl-*a*, tan solo la tercera semana de estudio registró 116 seg+ con valores de 4 a 6 -mg m³ (mediana = 5 mg/m³). En septiembre-octubre no se presentó esta relación ya que la tercera semana de estudio fue la más productiva (mediana= 0.38, intervalo 0.15 a 5.97 mg/m³) y no registró ni un solo blanco de calamar. Sin embargo, las detecciones se encontraron dentro de valores altos de Chl-*a*, 0.1 a 2.9 mg/m³ lo que soporta la idea de la afinidad de esta especie a regiones altamente productivas. Esto coincide con lo reportado por Robinson *et al.* (2013), donde se sugiere que las capturas del calamar gigante en Guaymas están relacionadas con áreas productivas, evidenciadas por una alta concentración de chl-*a* y baja temperatura superficial.

La detección de los blancos se encontró en un amplio intervalo de temperatura, en marzo de 16 a 18°C y en septiembre-octubre de 27 a 31°C, por lo que no fue un factor determinante en su distribución, como lo señalan Nevárez-Martínez *et al.* (2000). En contraste con lo reportado con Morales-Bojorquez *et al.* (2002) quienes señalan que existe una relación entre la abundancia y distribución del calamar y la temperatura superficial.

El calamar gigante migra hacia la superficie durante la noche y desciende a altas profundidades en el día (Nesis 1983, Nigmatullin *et al.* 2001). Sin embargo en este estudio no se observó una distribución vertical marcada, en marzo los ecos asociados a calamar, se encontraron en aguas someras durante la noche, y en el

día entre 10 y 140 m. En septiembre-octubre ocurrió el mismo comportamiento, de día los blancos se encontraron entre los 20 y 100m. Al parecer los calamares tienen alta variabilidad en la distribución vertical y en la naturaleza de sus movimientos verticales. Se propone que esta variabilidad refleja la búsqueda constante de alimento, así como de la intensidad luminosa y la temperatura (Bazzino *et al.* 2007, Markaida 2003, Gilly *et al.* 2006).

Para ambos periodos, en las zonas donde se detectaron blancos de calamar se corroboraron con la pesca. Sin embargo, hubo detecciones en las que no se pescó, esto puede deberse a que el transecto muestreado de día no fue muestreado de noche.

La estructura de tallas presentó alternancia entre temporadas, los calamares capturados en marzo presentaron una talla mayor que en los meses de septiembre-octubre lo que puede ser causado por el continuo reclutamiento de individuos grandes. La proporción de sexos obtenida en marzo y septiembre-octubre fue significativamente representada por hembras, ya que superó en número a los machos, con una proporción de 2.5:1. Nigmatullin *et al.* (1999), sugiere que los machos se distribuyen por debajo de la profundidad a la que trabajan las poteras (0-20 m), por lo que se pescan en menor número. En cuanto al estado de madurez, para ambos periodos, los machos se encontraron en etapas maduras (III-V), mientras que el mayor porcentaje hembras se encontraron en etapas inmaduras (I-II), contrario a lo reportado por Bazzino *et al.* (2007) quienes mencionan que durante la mayor parte del año existe predominancia de hembras maduras.

La talla a la cual maduraron los calamares presentó variación entre los meses, en septiembre-octubre fue menor que en marzo; las hembras presentaron estado de madurez a los 49 cm de LDM en septiembre-octubre, mientras que en marzo a los 74 cm, los machos mostraron estadios de madurez a los 63 cm en sep-oct y en marzo a los 74 cm de LDM. Markaida (2006) y Filauri (2005) sugieren que existe variación interanual e intranual de la estructura de tallas respecto al estadio de madurez gonádica.

La fuerza de blanco registrada por la ecosonda fue menor a lo esperado a partir de la ecuación de Benoit-Bird *et al.* (2008) para una frecuencia de 120 kHz.

La FB para marzo fue 8 dB menor a lo esperado, mientras que para septiembre fue de 11 dB menos (Figura 25). Las diferencias entre las FB son atribuidas a la posición del blanco en el haz acústico, su fisiología al nadar y su comportamiento; cuando el calamar nada se expande y contrae el manto, de tal modo que se tienen diferentes superficies de reflexión de las ondas de sonido, lo que resulta en una amplia gama de fuerzas de blanco (Gosline y Demont 1985). Estas diferencias también han sido observadas en peces, asociadas a su fisiología o comportamiento, aunque no está del todo entendido (Simmonds y MacLenna, 2007).

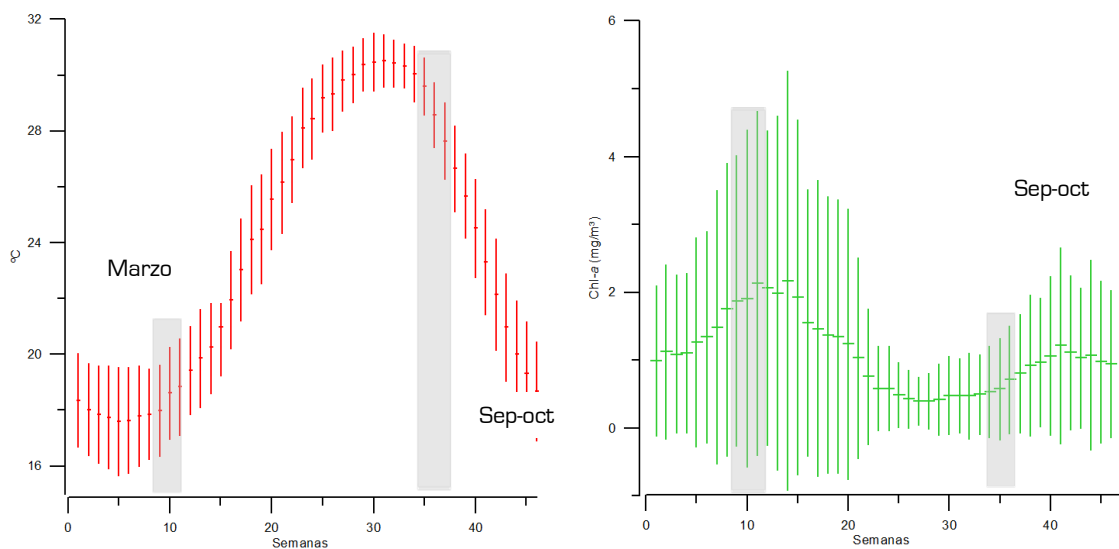


Figura 24. Análisis histórico del promedio semanal de la TSM (rojo) y Chl-*a* satelital (verde) (MODIS-Terra) de 1998 a 2012. El área sombreada muestra las semanas donde se realizó este estudio.

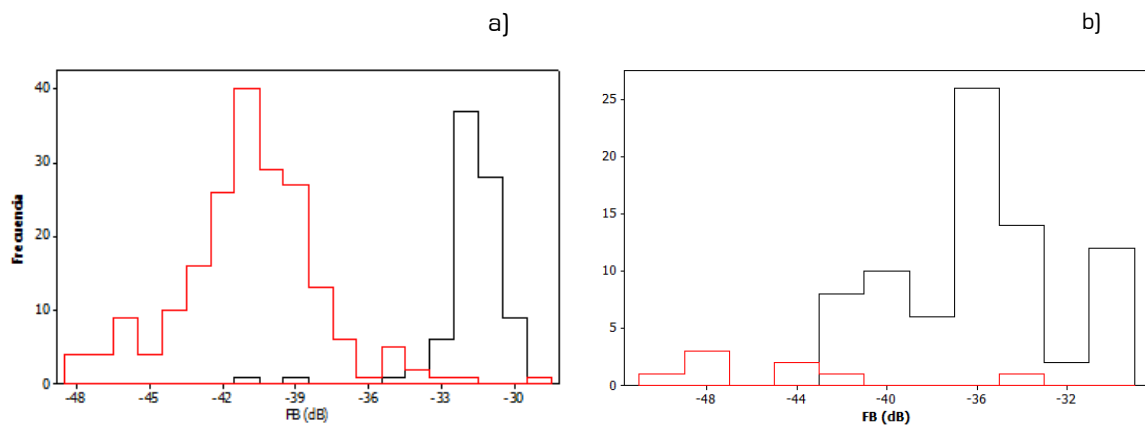


Figura 25. Fuerza de blanco estimada por la ecuación de Benoit-Bird (rojo) y calculada por la ecosonda (negro), a) marzo, b) septiembre-octubre.

Aunque la hidroacústica posee muchas ventajas, tiene sus limitaciones; produciendo sesgos en las prospecciones acústicas, derivados de la precisión del equipo acústico, las propiedades y limitaciones del haz transmitido (i.e., la incapacidad de la señal acústica para distinguir objetivos cerca del fondo, la incertidumbre en la estimación de la fuerza del blanco).

La estimación de biomasa presentada en este estudio tiene algunas limitantes: 1) el cálculo se realizó hasta los 150 m, cuando el calamar se distribuye a profundidades mayores a los 1000 m (Gilly *et al.* 2006) la biomasa estimada está compuesta por una capa de dispersión del sonido multi-específica, 3) existe una sub-estimación por los calamares distribuidos en superficie o cerca del fondo, lejos del alcance del haz de sonido.

Hasta el momento todas las estimaciones de biomasa de *Dosidicus gigas* en el Golfo de California se basan en las capturas y datos de desembarque. Este es el primer cálculo de biomasa instantánea utilizando métodos indirectos; la biomasa instantánea de calamar fue de 60,342 t, muy similar a lo reportado por CONAPESCA para el 2010 (66, 464 t).

Las estimaciones de biomasa más cercanas al período de estudio, son para el año 2005 con 205,873 t (González-Máynez, 2011) y 2012 con 130,000 t (Névarez, com. pers., segundo congreso de calamar gigante, Guaymas). Al parecer la biomasa ha sido sobrestimada, tan sólo para los tres primeros meses del 2012 se capturaron 58 t. Hay que tomar en cuenta que estas estimaciones dependen directamente de las capturas en las zonas de pesca.

La pesquería del calamar gigante es considerada como inestable, por lo que la legislación de ésta es difícil, sin embargo, con la implementación de métodos indirectos para estimaciones de biomasa en tiempos cortos, complementados con métodos convencionales, podrían ayudar a tomar decisiones adecuadas para el manejo de esta pesquería.

7. Conclusiones

- La abundancia y biomasa de *Dosidicus gigas* de marzo a septiembre-octubre de 2010 disminuyó, asociado con un decremento en la concentración de Clorofila-*a*.
- La biomasa instantánea de calamar en el centro del Golfo de California durante de marzo fue de 45,350 t, mientras que para septiembre-octubre fue de 14,974 t.
- La temperatura superficial del mar (TSM) no fue un factor determinante en la distribución de *Dosidicus gigas*, su intervalo de tolerancia es muy amplio. En marzo se encontró a una temperatura de 16 a 18 °C y de 27 a 31 °C en septiembre-octubre.
- El mayor número de capturas y registros de blancos de calamar gigante se presentó en regiones con alta concentración de Clorofila-*a*, lo que afirma su afinidad por zonas productivas.
- Contrario a lo esperado y fundamentado en estudios previos, no se observó una migración vertical marcada durante ambos períodos, posiblemente sea en respuesta a la necesidad de alimentarse.
- La distribución vertical de *Dosidicus gigas* se localizó cerca de lo máximos de Chl-*a* en la columna de agua, los cuales fueron más pronunciados en marzo. El intervalo de temperatura a la cual se detectaron los blancos fue amplio (16-27°C) en los dos períodos de muestreo, en alta concentración de oxígeno disuelto (2-5.5 mL L⁻¹).
- Se encontró una proporción sexual favorable de hembras inmaduras durante los dos períodos de muestreo; los machos capturados durante ambos períodos mostraron estadios de madurez III-IV, lo que sugiere que son sexualmente activos la mayoría del año.
- Las diferentes tallas a las que maduraron los calamares capturados sugieren que existe variación intranual.

- La fuerza de blanco de un calamar es diferente en una embarcación en movimiento a cuando está detenida, en este estudio la FB fue menor (8 a 11 dB) a lo esperado por la ecuación propuesta por Benoi-Bird et al. (2008), la naturaleza de estas diferencias no están del todo entendidas, es es una línea de investigación que debe explorarse.

8. Referencias

- Aglen, A., 1989, "Empirical results on precision-effort relationships for acoustic surveys", ICES CM, B30, 28 p.
- Álvarez-Borrego, S. y J.R. Lara-Lara. 1991, *The physical environment and productivity of the Gulf of California*. In: Dauphin, J.P. y B. Simoneit (Eds.), "The Gulf and Peninsular Province of the Californias. Amer. Assoc. Petrol. Geol. Mem.", 47: 555-567.
- Bazzino, G., Salinas-Zavala, C.A., Markaida, U., 2007. "Variability in the population structure of jumbo squid (*Dosidicus gigas*) in Santa Rosalía, central Gulf of California." *Cienc. Mar.* 33: 173-186.
- Bazzino, G., Gilly, W. F., Markaida, U., Salinas-Zavala, C. y Ramos-Castillejos, J. 2010. "Horizontal movements, vertical-habitat utilization and diet of the jumbo squid (*Dosidicus gigas*) in the Pacific Ocean off Baja California Sur, México". *Progress in Oceanography*, 86(1-2), 59-71.
- Beddington, J.R., Rosenberg A., Crombie J.A y Kikrwood J.P., 1990. "Stock assessment and the provision of management advice for the short fin squid fishery in Falkland Islands waters", *Fisheries Research*, 8:351-365.
- Benoit-Bird K., y Au W.W., 2002. "Energy: Converting from acoustic to biological resource units", *Acoustical Society of America*, 111(5):2070-2075.
- Benoit-Bird, K. J., Gilly, W. F., Au, W. W. L., & Mate, B. 2008. "Controlled and in situ target strengths of the jumbo squid *Dosidicus gigas* and identification of potential acoustic scattering sources". *The Journal of the Acoustical Society of America*, 123(3), 1318-28.
- Benoit-Bird, K., & Gilly, W. 2012. "Coordinated nocturnal behavior of foraging jumbo squid *Dosidicus gigas*." *Marine Ecology Progress Series*, 455, 211-228.
- Boyle, P. y Rodhouse, P. G. 2005. "Fishing methods and scientific sampling," in *Cephalopods: Ecology and fisheries*, P. Boyle, and P. G. Rodhouse Blackwell (ed.), Londres, pp. 259-276.
- Camarillo-Coop S., C.A. Salinas-Zavala, M. Manzano-Sarabia y E.A. Aragón-Noriega, 2010. "Presence of *Dosidicus gigas* paralarvae (Cephalopoda : Ommastrephidae) in the central Gulf of California , Mexico related to oceanographic conditions." *Ciencias Marinas* (1983): 1-8.
- CONAPESCA, Anuario estadístico de acuicultura y pesca 2010, 285 p. Disponible en : <http://www.conapesca.sagarpa.gob.mx/wb/cona/anuario2010>
- CONAPESCA, Anuario estadístico de acuicultura y pesca 2011, 285 p. Disponible en : <http://www.conapesca.sagarpa.gob.mx/wb/cona/anuario2011>
- Cruz-González, F. Beltrán-Morales, L. Salinas-Zavala, C. Cisneros-Mata, M. Aragón-Noriega, E. Y Avilés-Polanco, G. 2011. "Análisis socioeconómico de la pesquería de calamar gigante en Guaymas, Sonora", *Economía, Sociedad y Territorio*, XI, 645-666.

- Ehrhardt, N. M., A. Solís N, P. S. Jacquemin, J. G. Ortiz C., P. Ulloa R., G. González D. y F. García B. 1986. "Análisis de la biología y condiciones del stock del calamar gigante *Dosidicus gigas* en el Golfo de California, México, durante 1980", *Ciencia Pesquera*, 5: 63-76.
- Ehrhardt, N. M., P. S. Jacquemin, F. García B., G. González D., J. M. López B., J. Ortiz C. y A. Solís N. 1983b. "On the fishery and biology of the giant squid *Dosidicus gigas* in the Gulf of California, Mexico", en J. F. Caddy (Ed.) *Advances in assessment of world cephalopod resources. FAO Fish. Tech.Pap.*, 231: 306-339
- Field J. C. y A. Baltz. 2006 "The role of squid in open ocean ecosystems. The jumbo squid, *Dosidicus gigas*, a new groundfish predator in the California Current?". *Global Ocean Ecosystems Dynamics*, 24: 57-58.
- 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, ICMYL, UNAM. 74p.
- Foot, K. G., Hanlon, R. T., Lampietro, P. J., and Kvitek, R. G., 2006. "Acoustic detection and quantification of benthic egg beds of the squid *Loligo opalescens* in Monterey Bay, California," *J. Acoust. Soc. Am.* 119, 844-856.
- Gilly W.F., U. Markaida, C.H. Baxter, B.A. Block, A. Boustany, L. Zeidberg, K. Reiscenicher, B. Robinson, G. Bazzino, C. Salinas. 2006. "Vertical and horizontal migrations by the jumbo squid *Dosidicus gigas* revealed by electronic tagging." *Marine Ecology Progress Series* 324: 1-17. Disponible en: <http://www.int-res.com/abstracts/meps/v324/p1-17/>
- González-Máñez, V., 2011. Abundancia del calamar gigante (*Dosidicus gigas* D' Orbigny, 1835) y su relación con factores ambientales en el Golfo de California, México. Tesis de Licenciatura, Fac.Ciencias, UNAM. 52 P.
- Gosline, J.M. y Demont, M.E. 1985. "Jet-propelled swimming in squid", *Scientific Amer.*, 252 (1): 96-103.
- Gunderson D.R., *Surveys of fisheries resources*. Ed. John Wiley y Sons INC., USA, 1993.
- Hendrickx, M.E., 2001. "Occurrence of a continental slope deep-water decapod crustacean community along the edge of the minimum oxygen zone in the southeastern Gulf of California, Mexico" . *Belgian Journal of Zoology* 13: 71-86.
- Hernández-Herrera, A., E. Morales-Bojórquez, M. A. Cisneros-Mata, M. O. Nevárez-Martínez y G. I. Rivera-Parra. 1998. "Management strategy for the giant squid [*Dosidicus gigas*] fishery in the Gulf of California", Mexico. *CalCOFI Rep.*, 39: 212-218.
- Hernández-Herrera, A., E. Morales-Bojórquez, M. O. Nevárez-Martínez, A. Balmori-Ramírez y G. I. Rivera-Parra. 1996. "Distribución de tallas y aspectos de la reproducción del calamar gigante (*Dosidicus gigas*) en el Golfo de California, México, en 1996". *Ciencia Pesquera*, 12: 85-89.
- Horne J.K. 2000 "Acoustic approaches to remote species identification: a review." *Fisheries and Oceanography*, 9:356-371.

- Jurvelius J., Knudsen F.R., Balk H., *et al.*, 2008. "Echo-sounding can discriminate between fish and macroinvertebrates in fresh water", *Freshwater Biology* 53:912-923.
- Kawaguchi, T. y Nazumi T., 1972. "Echo-traces of squid, *Ommastrephes sloanipacificus*, in the central waters of Japan Sea". *FAO Fisheries Circular* No. 142: 15-25. Rome.
- Kajiwara, Y., K. Iida y Y. Kamei, 1990. "Measurement of target strength for the flying squid (*Ommastrephes bartrami*)". *Bull. Fac. Fish. Hokkaido Univ.*, 41: 205-212.
- Keyl, Friedemann. 2008. "A hypothesis on range expansion and spatio-temporal shifts in size-at-maturity of lumbo squid (*Dosidicus gigas*) in the eastern Pacific Ocean" 49: 119-128.
- Klett, A., 1981. "Estado actual de la pesquería del calamar gigante en el estado de Baja California Sur", Centro de Investigación Pesquero de la Paz B.C.S., *Ser. Científ.*, México, No. 21, 29 p.
- Klett-Traulsen, A. 1996. "Pesquería de calamar gigante *Dosidicus gigas*. p 127-149 En Casas-Valdez y G. Ponce-Díaz (eds.). *Estudio del potencial pesquero y acuícola de Baja California Sur*. Vol. I, 350 pp.
- Lipiński, M. R. y L. G. Underhill. 1995. "Sexual maturation in squid: Quantum or continuum?". *S. Afr. J. Mar. Sci.*, 15: 207-223.
- Lipinski, M. R., and Prowse, M., 2002. "Direct hydroacoustic observations of chokka squid *Loligo vulgaris reynaudii* spawning activity in deep water," *S. Afr. J. Mar. Sci.* 24, 387-393.
- Lluch-Cota, D.B., Lluch-Belda, D., Lluch-Cota, S.E., López-Martínez, J., Salinas-Zavala, C.A., 1999. "Las pesquerías y El Niño", en: *Los impactos de El Niño en México*. IAI-SG-UNAM-CONACYT, México, pp. 137-178.
- Lluch-Cota, S. E., Aragón-Noriega, E. a., Arreguín-Sánchez, F., Aurióles-Gamboa, D., Jesús Bautista-Romero, J., Brusca, R. C., Cervantes-Duarte, R., et al. 2007. "The Gulf of California: Review of ecosystem status and sustainability challenges." *Progress in Oceanography*, 73(1): 1-26.
- Marinone, S.G., Pare S., Sierra, A., Castro, R., Mascarenhas, A., 2004. "Correction to Temporal and Spatial variation of the surface winds in the Gulf of California", *Geophysical Research Letters*, 31.
- Markaida, Unai, y Oscar Sosa-nishizaki. 2001. "Reproductive biology of jumbo squid *Dosidicus gigas* in the Gulf of California, 1995 ± 1997." *Fisheries Research* 54: 63-82.
- Markaida-Aburto, U., 2001. Biología del calamar gigante *Dosidicus gigas* Orbigny, 1835 [Cephalopoda: Ommastrephidae] en el Golfo de California, México. Tesis Doctoral. Ensenada, Baja California, México, 387 pp.
- Markaida, Unai, y Oscar Sosa-nishizaki. 2003. "Food and feeding habits of jumbo squid *Dosidicus gigas* [Cephalopoda : Ommastrephidae] from the Gulf of California, Mexico." *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom*. 83: 507-522.

- Markaida U., J. C. Rosenthal, y W. F. Gilly. 2005. "Tagging studies on the jumbo squid (*Dosidicus gigas*) in the Gulf of California, México." *Fishery Bulletin* 103(1): 219-226.
- Morales-Bojórquez, E., Hernández-Herrera, A., Nevárez-Martínez, M.O. Díaz de León, A., Rivera, G.I., Ramos, A., 1997. "Abundancia poblacional del calamar gigante (*Dosidicus gigas*) en las costas de Sonora, México", *Oceánides* 12(2):89-95.
- Morales-Bojórquez E., Cisneros-Mata M. A. M. Nevárez-Martínez y Hernández-Herrera A., 2001. "Review of stock assessment and fishery biology of *Dosidicus gigas* in the Gulf of California, Mexico." *Fisheries Research* 54: 83-94.
- Morales-Bojórquez E., E. 2002. "Comentarios acerca de la relación entre la temperatura y la captura de calamar gigante. Comments about the relationship between temperature and giant squid catches", *Ciencias Marinas* 28(2):211-221.
- Nakamura, Y. y Y. Sakurai. 1993. "Age determination from daily growth increments in statoliths of some groups of the Japanese common squid *Todarodes pacificus*", en T. Okutani, R. K. O'Dor y T. Kubodera (Eds.), *Recent Advances in Cephalopod Fisheries Biology*, p. 337-342. Tokai University Press, Tokio.
- Nesis, K. N. 1970. "The biology of the giant squid of Peru and Chile, *Dosidicus Gigas*". *Oceanology*, 10(1): 108-118.
- Nesis, K. N. 1983. *Dosidicus gigas*. Pp. 215-231. En P. R. Boyle (Ed.), *Cephalopod Life Cycles* Vol. I, Species Accounts. Academic Press, London, 475 pp.
- Nesis, K. N. 1993. "Population structure of oceanic ommastrephids, with particular reference to *Sthenoteuthis oualaniensis*: a review", en T. Okutani, R. K. O'Dor and T. Kubodera (Eds.), *Recent Advances in Cephalopod Fisheries Biology*, p. 375-383. Tokai University Press, Tokio.
- Nevárez-Martínez, M., Hernández-Herrera A., Morales-Bojórquez E., M. Cisneros-Mata y R. Morales-Azpeitia. 2000. "Biomass and distribution of the jumbo squid (*Dosidicus gigas*; d'Orbigny, 1835) in the Gulf of California, Mexico." *Fisheries Research* 49(2): 129-140. Disponible en: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0165783600001983>.
- Nevárez-Martínez, M.O. y Morales-Bojórquez, E. 1997. "El escape proporcional y el uso del punto de referencia biológico $F_{0.5BR}$, para la explotación del calamar gigante, *Dosidicus gigas*, del Golfo de California". *Oceánides*, 12(2): 97-105.
- Nigmatullin, C. 2001. "A review of the biology of the jumbo squid *Dosidicus gigas* (Cephalopoda: Ommastrephidae)." *Fisheries Research* 54(1): 9-19. Available at: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S016578360100371X>.
- Nigmatullin, Ch.M. 1999. Fishery ecology of jumbo squid *Dosidicus gigas* in the EEZ of Nicaragua", en Tresierra-Aquilar, A.E. y Z. G. Culquichicón-Malpica (Eds.), VIII Congreso Latinoamericano de Ciencias del Mar, Oct. 1999, Trujillo, Peru. Libro de Resúmenes Ampliados, vol. 1. 283.
- Pierce, G. J. et al. 2008. "A review of cephalopod - environment interactions in European Seas." *Hydrobiologia*, 612: 49-70.

- Pierce, G. J. & A. Guerra, 1994. "Stock assessment methods used for cephalopod fisheries". *Fisheries Research* 21: 255–286.
- Robinson C.J., Gómez-Gutiérrez J., Salas de León D., 2013. "Jumbo squid (*Dosidicus gigas*) landings in the Gulf of California related to remotely sensed SST and concentrations of chlorophyll *a* (1998–2012). *Fisheries Research* , 137: 97-103.
- Rosas-Luis R., C.A. Salinas-Zavala, V. Koch, P. Del Monte Luna y M.V. Morales-Zárate, M V. 2008 "Importance of jumbo squid *Dosidicus gigas* [Orbigny , 1835] in the pelagic ecosystem of the central Gulf of California." *Ecological Modelling*, 218: 149-161.
- Rosa R. y B.A. Seibel. 2010. "Metabolic physiology of the Humbolt squid, *Dosidicus gigas*. Implications for vertical migration in a pronounced oxygen minimum zone", *Progress in Oceanography* 86:72-80
- Rosenberg. A.G.P. Kirkwood, J.A. Crombie, y J.R. Beddington, 1990. "The assessment of stocks of annual squid species", *Fisheries Research*, 8:335-350.
- Staaf, D. J., Camarillo-Coop, S., Haddock, S. H. D., Nyack, A. C., Payne, J., Salinas-Zavala, C. a., Seibel, B. a., *et al.* 2008. "Natural egg mass deposition by the Humboldt squid (*Dosidicus gigas*) in the Gulf of California and characteristics of hatchlings and paralarvae." *Journal of the Marine Biological Association of the UK*, 88(04), 759–770.
- Starr, R.M., Thorne, R.E., 1998. Acoustic assessment of squid stocks. In: Rodhouse, P.G., Dawe, E.G., O'Dor, R.K., Squid Recruitment Dynamics. *FAO Fish. Tech. Pap.* No. 376. FAO, Rome, pp. 181–198.
- Simmonds J. y MacLennan D., *Fisheries Acoustics. Theory and Practice*. Ed. Blackwell Science, Segunda edición, 2007.
- Soto-Mardones, L., Marinone, S.G., Pare´s-Sierra, A., 1999. "Variabilidad espacio temporal de la temperatura superficial del mar en el Golfo de California". *Ciencias Marinas* 25:1–30.
- Taipe A., C. Yamashiro, L. Mariategui, P. Rojas and C. Roque. 2001. "Distribution and concentrations of jumbo flying squid (*Dosidicus gigas*) off the Peruvian coast between 1991 and 1999". *Fisheries Research* 54: 21-23.
- Vaughan, D.L. & Recksiek, C.W. 1978. "An acoustic investigation of market squid, *Loligo opalescens*". California Department Fish Game, *Fish Bulletin*, No. 169: 135-147.
- Waluda M, C.Yamashiro, y P. G Rodhouse. 2006. "Influence of the ENSO cycle on the light-fishery for *Dosidicus gigas* in the Peru Current : An analysis o remotely sensed data." *Fisheries Research* 79: 56-63.
- Zeidberg, Louis D, y Bruce H Robison. 2007. "Invasive range expansion by the Humboldt squid , *Dosidicus gigas* , in the eastern North Pacific." *Progress in Oceanography* 104(31): 12948-12950.
- Zeitzschel, B. 1969. "Primary productivity in the Gulf of California." *Mar. Biol.*, 3: 201-207.

Apéndice I. Hidroacústica

Las ondas de sonido en el agua son capaces de penetrar a distancias mayores que las ondas de luz o de radio, por lo que el uso pasivo o activo del sonido (hidroacústica) se ha convertido en uno de los métodos principales de muestreo para las pesquerías.

La hidroacústica difiere de otras técnicas en que esta ofrece la posibilidad de hacer un muestreo continuo en la columna de agua (en forma de conos creados por la difusión de energía acústica a medida que avanza una embarcación) a lo largo de un transecto seleccionado (Gunderson, 1993). El muestreo se puede realizar en grandes áreas y en tiempos cortos, lo que facilita la detección de agrupaciones de organismos pelágicos a lo largo del eje horizontal y vertical de manera simultánea. A su vez, las detecciones se pueden visualizar en tiempo real y con un procesamiento de información rápido.

Simmonds y MacLennan (2007) mencionan a la acústica como una herramienta a partir de la cual se pueden realizar estimaciones de abundancia y biomasa independientes de los datos de la flota pesquera. Por su parte, Robinson y Gómez (1998) señalan otras aplicaciones, como en el estudio del comportamiento de organismos pelágicos, a través de las migraciones horizontales y verticales en la columna de agua y de la formación de grupos y dispersión de estos. Esta técnica también se ha empleado para detectar agregaciones de desove y en la cuantificación de huevos de algunos cefalópodos de interés comercial (Lipinski y Prowse 2002, Foote *et al.* 2006).

A pesar de las ventajas que posee la acústica como un método de muestreo confiable, presenta limitaciones. La más notable es que ningún método hidroacústico permite identificar las especies que conforman un cardumen o agregación de organismos, aunque sí grupos funcionales de organismos con características morfológicas y tallas relativamente distintas (firma acústica), como calamares. Otra desventaja es que no se pueden detectar aquellos organismos que se encuentren cerca de la superficie o muy cerca del fondo marino. Por lo que se necesitan realizar modificaciones en los sistemas y equipos hidroacústicos.

4.4 Equipos hidroacústicos

El instrumento principal para un muestreo y/o evaluación acústica es la ecosonda. Las ecosondas y los sonares están basados en el principio de dirigir ondas de sonido hacia un objetivo y recibir la energía reflejada, denominado como eco (Butler, *et al.* 1990).

Son dos los componentes básicos de una ecosonda: el transmisor y el transductor. El transmisor produce una señal eléctrica que es convertida por el transductor a pulsos de sonido que se propagan a través de la columna de agua en forma de cono. Los ecos de los blancos en el agua son recibidos por el transductor para convertirlos de nuevo a una señal eléctrica que se muestran gráficamente como un ecograma (figura 8). Los ecogramas proporcionan información acerca de la localización de los grupos de interés (peces, calamares, plancton), la profundidad a la que se encuentran, las áreas de alta y baja densidad, entre otras (Starr y Thorne, 1998).

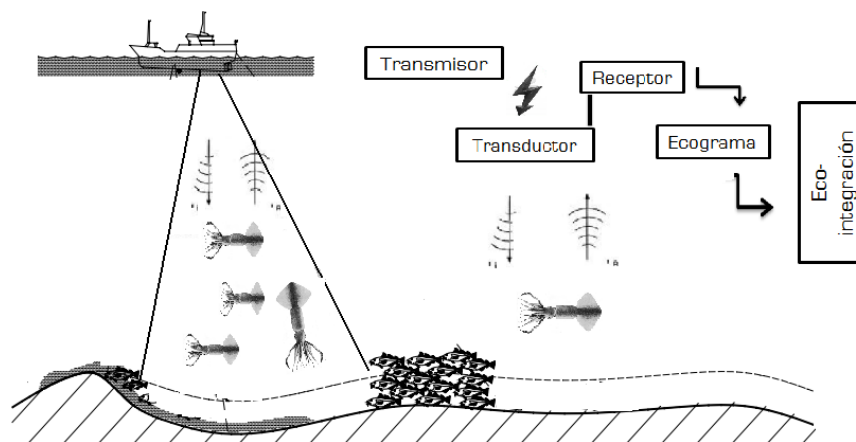


Figura 8. Componentes y funcionamiento esquemático de una ecosonda científica.

4.4.1 Haz dividido o “Split beam”

Actualmente, se comercializan varios tipos de ecosondas científicas, atendiendo al número de canales de emisión-recepción de los que disponen, el sistema más básico es el de haz simple o “single-beam”, el sistema de haz doble o “dual-beam”, el de haz dividido o “split beam” y los llamados multihaz o “multi beam”.

El sistema de haz dividido ha sido desarrollado y comercializado por la empresa noruega Simrad en las ecosondas de la serie EY y EK, entre otras. Utiliza

un único transductor circular dividido electrónicamente en cuatro cuadrantes, de forma que durante la emisión trabajan todos ellos con la misma amplitud y fase. En recepción se emplean los cuatro canales por separado, recibiendo los ecos de cada canal de forma independiente (Cebrecos-Ruiz, 2010). Esta información se emplea posteriormente para obtener los valores angulares y compensar el efecto de dirección de haz. Suponga que los cuadrantes son nombrados de la 'a-d' (figura 1), el ángulo Θ_t del blanco se determina por la diferencias de fase (a-b) y (c-d). En la práctica, la suma de la señal acústica (a+c) se compara con (b+d), que determina la diferencia de fase μ_θ . El ángulo \varnothing_t en el plano perpendicular se determina por la diferencias de fase, esto es entre (a+b) y (c+d), que se escribe como μ_ϕ . Los dos ángulos determinan la dirección del blanco.

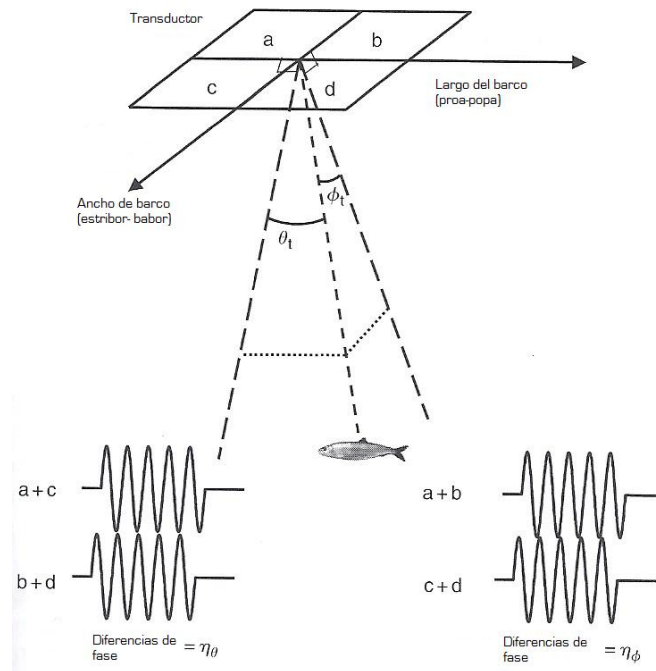


Figura 1. Funcionamiento del haz dividido. La dirección del blanco es determinada por Θ_t y \varnothing_t , Las señales procedentes de los cuatro cuadrantes [a-d] se combinan en pares proporcionando diferencias de fase μ_θ y μ_ϕ , que determinan estos ángulos directamente.

Algunas de las ventajas que proporciona el haz dividido son:

- Determinar la posición relativa del blanco respecto al haz de emisión
- Existe la posibilidad de seguir el blanco a través del haz de sonido

- La fuerza de blanco y dirección de los peces puede ser medida en función de la posición del haz.

4.5 Principios acústicos

Los principios básicos sobre la detección de un blanco en el agua con un sistema acústico son descritos por la ecuación del sonar, que de manera general se describe como:

$$\text{IER} = \text{IS} + \text{FB} - \text{PS}$$

Donde IER es la intensidad del eco recibido, IS es la intensidad de salida del sonido, FB es la fuerza de blanco acústico y PS es la pérdida de sonido por fricción o absorción. La ecuación se define matemáticamente como sigue (Gunderson, 1993):

$$\text{IER} = \text{IS} + \text{FB} + \underbrace{20 \log b(\theta, \Phi) - 2\alpha R - 40 \log R}_{\text{TVG}}$$

Donde IS es la intensidad de salida del sonido [dB], FB fuerza de blanco [dB]; los dos últimos términos son descritos como dos formas de en las que las ecosondas corrigen automáticamente la pérdida del sonido por fricción o absorción mediante un proceso denominado TVG (Time-varied again), que determina cuanto debe ser compensada la intensidad del eco de acuerdo al medio y a la distancia. La pérdida de sonido está dada por α [dB/m], donde $\alpha = 10 (\log_{10} e) (\beta) = 4.3\beta$, β es el coeficiente de absorción acústica.

Si IER es suficientemente mayor que el ruido que se encuentra en el medio, el blanco será detectado. Aunque la "resolución" del blanco depende de varios factores, como su posición sobre la cara del transductor (eje acústico), la frecuencia [kHz] y el ángulo del haz del transductor, este parámetro establece la relación entre el ángulo y los patrones de dirección del blanco (eco) hacia el transductor. Los ángulos típicos de los haces utilizados en las pesquerías van de 2° a 15° (Simmonds y MacLennan, 2005, Starr y Thorne, 1998).

Aunque la evaluación acústica requiere algo más que la detección de los ecos. La energía de los ecos puede ser convertida en estimaciones de abundancia. Existen dos técnicas básicas de procesamiento de señales utilizadas para estimar

el número de blancos detectados por un sistema acústico: eco-conteo y eco-integración.

El eco-conteo se refiere a los ecos individuales de los blancos (peces, calamares) que se encuentren espaciados y se detecten dentro del umbral de la fuerza del blanco seleccionada. La eco-integración es un método que mide la energía total reflejada de una concentración de blancos, el número de individuos se estima dividiendo la energía total reflejada por la energía reflejada de un individuo; permite estimar la abundancia de blancos, aún cuando estos no son distinguidos como blancos únicos, esta técnica debe combinarse con la información biológica obtenida, utilizando otros métodos de muestreo directo (Starr y Thorne, 1998).