



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA  
DE MÉXICO**

---

---

**FACULTAD DE CIENCIAS**

**Distribución y abundancia del calamar gigante  
(*Dosidicus gigas*) en el Golfo de California utilizando  
hidroacústica de multifrecuencias durante junio 2013**

**T E S I S**

**QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:**

**BIÓLOGA**

**P R E S E N T A:**

**ANA MIRIAM BARRIENTOS PALACIOS**



**DIRECTOR DE TESIS:  
Dr. CARLOS J. ROBINSON MENDOZA  
2015**

Ciudad Universitaria, D. F.



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



**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.

**Distribución y abundancia del calamar gigante (*Dosidicus gigas*) en el Golfo de California utilizando hidroacústica de multifrecuencias durante junio de 2013**



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:

**Distribución y abundancia del calamar gigante (*Dosidicus gigas*) en el Golfo de California utilizando hidroacústica de multifrecuencias durante junio 2013**

realizado por **Barrientos Palacios Ana Miriam** con número de cuenta **3-0607543-6** quien ha decidido titularse mediante la opción de tesis en la licenciatura en **Biología**. Dicho trabajo cuenta con nuestro voto aprobatorio.

Propietario Dr. Gerardo Rivas Lechuga

Propietario Dr. Jaime Gómez Gutiérrez

Propietario Tutor Dr. Carlos Jorge Robinson Mendoza

Suplente Dra. Martha Reguero Raza

Suplente Biol. Alejandro Frías Villegas

Alientamente

**"POR MI RAZA HABLARÁ EL ESPÍRITU "**  
Ciudad Universitaria, D. F., a 15 de agosto de 2014  
**EL JEFE DE LA DIVISIÓN DE ESTUDIOS PROFESIONALES**

**ACT. MAURICIO AGUILAR GONZÁLEZ**

Señor doctoral: 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/MGM/mbm

## Resumen

El calamar gigante, *Dosidicus gigas* (d'Orbigny, 1835) es una relevante en la trama trófica pelágica porque es un depredador voraz que consume: langostillas, mictófidios, copépodos, eufáusidos, cangrejos rojos y peces pelágicos menores. Así también, es alimento de grandes peces pelágicos como dorados (*Coryphaenahippurus*), varias especies de atún y organismos de mayor tamaño como cachalotes y tiburones. *Dosidicus gigas* es una especie de relevancia comercial y esto se refleja en los altos volúmenes de pesca. Las principales pesquerías de esta especie están en Perú y el Golfo de California, México. En el Golfo de California se tiene registrada la pesquería del calamar gigante desde 1974, concentrada principalmente en dos puertos de pesca, Santa Rosalía, BCS y Guaymas, Sonora, Sin embargo, desde 2010 las capturas de este recurso se encuentran en sus niveles más bajos registrados desde hace más de 15 años.

A partir de los datos hidroacústicos registrados durante junio 2013, febrero y agosto 2014 se definió la firma acústica del calamar gigante mediante dos frecuencias (38 y 120 kHz) se definió con un índice de agrupamiento ( $Sawada < 0.14$ ) y una distribución de las restas de fuerzas de blanco (38 y 120 kHz) entre 2.23 y 8.31dB. En este trabajo se analizaron las condiciones oceanográficas *in situ* y por medio de datos de satélite, se utilizó el método hidroacústico de multifrecuencias para determinar la distribución y abundancia de *D. gigas* para conocer su asociación con las condiciones oceanográficas, para intentar dar respuestas a los patrones de migración de esta especie durante condiciones climáticas desfavorables. Así mismo, el conocimiento de la talla, estado de madurez sexual, proporción de hembras y machos durante junio de 2013 y su comparación con los datos históricos permitirá conocer las adaptaciones fisiológicas junto con el conocimiento de su biología.

Durante el periodo de estudio se obtuvieron bajas capturas asociado con una longitud de manto promedio sumamente baja (“enanismo”) de individuos sexualmente maduros (LDM máxima = 45 cm) que aparentemente es una respuesta ante condiciones de poca productividad de fitoplancton en consecuencia al evento de calentamiento de El Niño durante el período de julio de 2009 a abril de 2010 y la disminución de la velocidad promedio de los vientos, que disminuyó las surgencias. La población tuvo clara predominancia de hembras (3.4:1).

**Distribución y abundancia del calamar gigante (*Dosidicus gigas*) en el Golfo de California utilizando hidroacústica de multifrecuencias durante junio de 2013**

La distribución de *Dosidicus gigas* se localizó mediante hidroacústica en 15 zonas cercanas a las Grandes Islas y a lo largo de la costa occidental de Baja California y de Sonora, en estas zonas se registraron las mayores concentraciones de clorofila-a registradas durante el muestreo (máximo de la zona más productiva  $3.23 \text{ mg m}^{-3}$ ).

## Listado de Figuras

Figura 1. Vista dorsal de *Dosidicus gigas*. Estos individuos fueron capturados en el Golfo de California.

Figura 2. Mapa de distribución de tres especies comerciales de cefalópodos, *Dosidicus gigas*, *Illex argentinus* e *Illex illecebrosus* (Mapa tomado de Rocha *et al.*, 2001).

Figura 3. Mapa con los puntos de expansión en la distribución de *Dosidicus gigas* reportados por diferentes autores para diferentes años (Mapa tomado de Keyl *et al.*, 2008).

Figura 4. Modelo conceptual de la distribución y migración de *Dosidicus gigas* durante 1980 a) Mapa con el patrón de migración observado de invierno a primavera; b) Mapa con el patrón de migración de verano a otoño (Mapa tomado de Edhart *et al.*, 1986).

Figura 5. Lobo marino alimentándose de un calamar de la especie *Dosidicus gigas* en California (fotografía tomada de socialbirding.com).

Figura 6. Datos históricos de captura de *Dosidicus gigas* por desembarque en Guaymas, Sonora. La línea gris indica la ubicación temporal del crucero efectuado en Junio de 2013. Se muestra también un recuadro con un acercamiento para expresar la situación pesquera de este cefalópodo durante este estudio.

Figura 7. Localización geográfica y batimetría del Golfo de California (Área de estudio).

Figura 8. Promedio mensual de clorofila-a en el periodo 1990 a 2013 en el Golfo de California a partir de datos satelitales obtenidos por MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer) TERRA, de 4 km de resolución. La barra color gris indica el mes donde se realizó este estudio.

Figura 9. Promedios mensuales de la temperatura superficial del mar de 1990 hasta 2013 en el Golfo de California obtenidos por el satélite MODIS TERRA, de 4 km de resolución. La barra color gris indica el mes en el que se realizó este estudio.

Figura 10. Viento sostenido medio de febrero a marzo, Índice del canónico Niño MEI y

**Distribución y abundancia del calamar gigante (*Dosidicus gigas*) en el Golfo de California utilizando hidroacústica de multifrecuencias durante junio de 2013**

captura de calamar en la zona de Guaymas. Las barras rojas representan la captura de *Dosidicus gigas*. La línea negra indica las variaciones del índice MEI para el evento del niño. La línea gris indica la fecha en que se realizó este trabajo.

Figura 11. Derrotero (línea negra continua) del B/O El Puma durante junio 2013. A lo largo de este derrotero se realizaron en total 97 estaciones.

Figura 12. Ecogramas generados mediante el programa EK60 para ambas frecuencias (38 y 120 kHz). a) Profundidad del fondo marino. b) Ecograma, aquí se observan todos los registros de ecos. c) Escala de colores para la intensidad de los ecos. d) Gráfico de la posición de los ecos por cuadrantes dentro del haz. e) Gráfico con las frecuencias de los dB de los ecos. Existe cada uno de los paneles para cada una de las frecuencias.

Figura 13. Poteras de 2, 3 y 5 coronas, con un hueso fosforescente, arte de pesca utilizado para esta investigación.

Figura 14. Datos semanales de SST obtenidos por Terra. a) Semana 21, del 10 al 17 de junio b) Semana, 22 del 18 al 25 de junio.

Figura 15. Datos semanales de clorofila-a obtenidos por Terra. a) Clorofila-a para la semana 21 b) clorofila-a para la semana 22.

Figura 16. Derrotero del B/O El Puma (línea negra continúa) con muestreos de CTD. En color rojo se encuentran los puntos de muestro con recolección de datos de CTD (34 puntos).

Figura 17. Temperatura *insitu* obtenida con el CTD en distintos estratos. a) Temperatura a 5 m, b) Temperatura a 20 m y c) Temperatura a 50 m.

Figura 18. Fluorescencia *insitu* registrada con el CTD en distintos estratos. a) Fluorescencia a 5 m, b) Fluorescencia a 20 m y c) Fluorescencia a 50 m.

Figura 19. Concentración de oxígeno disuelto *insitu* registrada con el CTD en distintos estratos. a) Oxígeno a 5 m, b) Oxígeno a 20 m y c) Oxígeno a 50 m.

Figura 20. Mapa de los datos *insitu* de temperatura a) Valores máximos de diferencia

encontrada a lo largo del muestreo de la comuna de agua para determinar la termoclina b) Profundidad a la que los valores máximos de diferencia se encontraron.

Figura 21. Mapa de los datos *insitu* de la concentración de oxígeno a) Valores máximos de diferencia encontrada a lo largo del muestreo de la comuna de agua para determinar la oxiclina b) Profundidad a la que los valores máximos de diferencia se encontraron.

Figura 22. Concentración de la clorofila-a *insitu*. a) Pico de concentración máxima de clorofila-a calculada a partir de muestras de agua. b) Profundidad a la que se encontró el máximo de clorofila-a.

Figura 23. Avistamientos superficiales de calamar (círculos rojos). A lo largo del derrotero se obtuvo un total de 22 eventos de avistamientos.

Figura 24. Mapa del área de estudio con los puntos donde se realizaron muestreos mediante cámara, a) los rombos muestran el total de éstos (60 puntos); b) las cruces ilustran los eventos de cámaras positivas (8).

Figura 25. Área de estudio con los puntos donde se realizaron muestreos con poteras, a) los rombos ilustran el total de éstos (68 puntos); b) los puntos positivos de pesca se muestran con las cruces (21 puntos).

Figura 26. Histograma de frecuencias de la LDM de calamares (n= 228) capturados durante Junio 2013.

Figura 27. Histograma de LDM de los calamares (n= 228). Los datos fueron separados por hembras (negro) y machos (rojo). La proporción de hembras y machos fue de 3.42:1.

Figura 28. Estadios de madurez sexual para calamares pescados. Los datos fueron separados por hembras y machos (Lipinski y Underhill, 1995).

Figura 29. Ecograma generado con la ecosonda de 38 kHz el día 19 al 20 de febrero 2014. En él se aprecia la línea del fondo, la delimitación o bloqueo del fondo, trazas de zooplancton y en el recuadro negro se observan los ecos de calamares. De esta zona se generó un zoom para apreciar mejor las formas los ecos de los calamares en trazas.

**Distribución y abundancia del calamar gigante (*Dosidicus gigas*) en el Golfo de California utilizando hidroacústica de multifrecuencias durante junio de 2013**

Figura 30. Firma acústica del calamar. Distribución de las restas (38 kHz – 120 kHz) de ecos asociados a calamar para febrero de 2014.

Figura 31. Proporción de restas que caen entre el intervalo de q1 a q3 de la firma acústica del calamar durante el anclaje de agosto de 2014. Las flechas negras indican eventos de pesca con potera y el número de calamares capturados.

Figura 32. Proporción de ecos asociados a calamar *D.gigas*. a) Frecuencia de los datos según la velocidad del barco, se observan dos distribuciones. b) Frecuencia de los datos por horas (formato de 24 h). c) Profundidad a la que se distribuyen los datos.

Figura 33. Distribución y Delimitación de las zonas con ecos asociados a calamar (Z). Se obtuvo un total de 15 zonas para toda el área de estudio.

Figura 34. Estimación de abundancia para el área muestreada. Se tiene una mediana de 85.6 Indha<sup>-1</sup>.

Figura 35. Registro histórico de longitud dorsal del manto (LDM) de *Dosidicus gigas*. La media (círculo relleno). Las barras representan la talla mínima y máxima reportada.

**Lista de Tablas.**

Tabla 1. Número de individuos hembras y machos obtenidos con su mediana de LDM correspondiente.

Tabla 2. Prueba de Kruskal-Wallis de LDM Machos vs. estado de desarrollo gonádico.

Tabla 3. Prueba de Kruskal-Wallis de LDM Hembras vs. estado de desarrollo gonádico.

Tabla 4. Información estadística sobre las restas de los ecos confirmados como calamar.

Tabla 5. Descripción de la biomasa (kg ha<sup>-1</sup>) por a cada una de las zonas donde se detectaron *D. gigas*.

## Contenido

<b>Resume</b> .....	II
<b>Lista de Figuras</b> .....	IV
<b>Lista de Tablas</b> .....	VII
<b>1. Introducción</b> .....	3
1.1 Biología.....	3
1.2 Taxonomía.....	6
1.3 Distribución.....	8
1.3.1 Distribución horizontal en el Golfo de California.....	10
1.4 Importancia ecológica.....	11
1.5 Importancia económica-pesquera de los cefalópodos.....	13
1.5.1 Pesquería en México.....	14
1.6 Importancia de los métodos hidroacústicos para el manejo de la pesquería....	17
1.7 Justificación.....	18
<b>2. Objetivo general</b> .....	19
<b>3. Objetivos particulares</b> .....	19
<b>4. Área de estudio</b> .....	20
<b>5. Material y método.</b> .....	25
5.1 Obtención de datos.....	26
5.1.1 Hidroacústica.....	26
5.1.2 Pesca.....	28
5.1.3 Cámara submarina.....	28
5.1.4 Avistamientos de calamares en superficie.....	29
5.1.5 Datos de CTD.....	29
5.1.6 Datos satelitales.....	30
5.2 Análisis de datos.....	31
5.2.1 Mapa base del Golfo de California.....	31
5.2.2 Mapas satelitales.....	31
5.2.3 Datos de CTD.....	32
5.2.4 Mapas de avistamientos de calamar y cámara submarina.....	33
5.2.5 Datos de pesca.....	33

5.2.5.1 Mapa de pesca.....	34
5.2.5.2 Análisis de longitud del manto y estado de madurez sexual.....	34
5.2.6 Análisis hidroacústico.....	35
5.2.6.1 Análisis hidroacústico de multifrecuencias (38 y 10 kHz).....	36
5.2.6.2 Distribución geográfica y abundancia de los ecos asociados a calamar.....	37
5.2.6.3 Cálculo y distribución de biomasa.....	38
<b>6. Resultados</b> .....	<b>38</b>
6.1 SST y clorofila-a satelital.....	39
6.2 Temperatura, oxígeno y clorofila-a, a lo largo de la columna de agua, registrados por CTD.....	41
6.2.1 Obtención de la termoclina, oxíclina y máximo de clorofila.....	45
6.3 Registro de avistamiento cámara submarina y poteras.....	49
6.4 Descripción de los calamares capturados por medio de poteras.....	51
6.5 Datos hidroacústicos.....	53
6.5.1 Identificación de la firma acústica del calamar gigante utilizando los datos del crucero de febrero de 2014.....	53
6.5.2 Corroboración de la firma acústica del calamar en los datos de agosto de 2014.....	55
6.5.3 Uso de la firma acústica para detectar calamares en el crucero de junio 2013.....	56
6.5.3.1 Proporción de restas > 0.41, velocidad del barco, hora y profundidad de los ecos.....	57
6.5.4 Distribución geográfica y abundancia de los ecos asociados a calamares....	58
6.5.5 Cálculo y distribución de biomasa.....	60
<b>7. Discusión</b> .....	<b>60</b>
<b>8. Conclusiones</b> .....	<b>70</b>
<b>9. Referencias</b> .....	<b>72</b>
<b>10. Anexo 1. Longitud dorsal del manto (LDM) de <i>Dosidicus gigas</i> de 1995 hasta 2014.....</b>	<b>80</b>

## **1. Introducción.**

Los cefalópodos son una clase de moluscos de gran relevancia ecosistémica y económica a nivel mundial. Una de las razones por lo cual tienen un papel importante en las redes tróficas de los ecosistemas pelágicos marinos es que pueden ocupar diferentes nichos, son voraces depredadores y presentan altas tasas metabólicas y de crecimiento (Cifuentes Lemus *et al.*, 1997). La alta flexibilidad y especialización en la reproducción de los cefalópodos son adaptaciones a la supervivencia en diferentes ambientes, ya sea que el ambiente sea muy cambiante o no. Estas adaptaciones pueden darse también cuando los organismos se encuentran en competencia con algunas especies de peces (Rocha *et al.*, 2001).

La pesca de cefalópodos ha tomado una gran relevancia debido a que en las pesquerías de otras especies de importancia económica ha habido una baja en las capturas por lo cual la pesca se ha enfocado en otros recursos como son por ejemplo los calamares. Además se ha observado que los nichos desocupados asociados con sobrepesca de las poblaciones de peces, han sido ocupados y con densidades poblacionales más grandes de calamares (Rodhouse., 2005).

En México la pesquería del calamar gigante *Dosidicus gigas*, es particularmente relevante para la costa occidental de Baja California y el Golfo de California.

### **1.1. Biología**

El calamar gigante *Dosidicus gigas*(d'Orbigny, 1835) es un molusco de la familia Ommastrephidae (Nesis, 1971; Nigmatullin *et al.*, 2001). Las características de los miembros de esta familia son q manto con forma de torpedo, particularmente *Dosidicus gigas* mantiene esta característica pero en forma de un cono-cilíndrico, cuyo radio se reduce de forma

gradual hasta llegar a la región de las aletas terminando en una punta cónica; las aletas son romboidales, anchas y musculosas. Presentan un cartílago invertido en forma de T que une el sifón al manto, los ojos son grandes, en forma de globo y no presentan párpados (eogópsidos) (Ehrhardt *et al.*, 1986).

*Dosidicus gigas* es una de las especies con individuos de mayor talla dentro de la familia Ommastrephidae pueden llegar a medir hasta 2.5 metros de longitud total con un peso de 50 kg (Ehrhardt *et al.*, 1986).

En el Golfo de California se tiene reportado que individuos de esta especie pueden medir hasta 1.2 metros de longitud del manto (Masuda *et al.*, 1998; Nigmatullin *et al.*, 2001). Su ciclo de vida es de un año aunque se han descubierto que algunos que pueden llegar a vivir hasta 2 años (Arkhipkin 1989, Nigmatullin *et al.*, 2001).

*D. gigas* es un organismo semélparo, solo tiene un evento reproductivo y de desove al final de su ciclo de vida, muere después de la temporada de reproducción (Nigmatullin *et al.*, 2001; Keyl *et al.*, 2008; Hoving, *et al.*, 2013). Algunos ejemplos son *Octopus vulgaris* y el salmón, que presentan estos patrones y mueren inmediatamente después del desove; algunos como *Mallotus villosus* mueren poco después de que la temporada de desove ha terminado.

Presentan una de las más grandes tasas de fecundidad en cefalópodos, hasta 32 millones de oocitos (Nigmatullin., 1999; Nigmatullin *et al.*, 2001). Se distinguen seis estadios de madurez sexual de acuerdo con la clasificación de Lipinski y Underhill (1995).

Los eventos de reproducción se pueden dar en diferentes ocasiones a lo largo del año pero con dos picos máximos. En Perú se reproduce durante primavera y otro en verano (octubre-

## Distribución y abundancia del calamar gigante (*Dosidicus gigas*) en el Golfo de California utilizando hidroacústica de multifrecuencias durante junio de 2013

enero) (González y Chong, 2006) y para el Golfo de California Ehrhardt *et al.*, (1983) describió dos picos reproductivos uno de diciembre a enero y el segundo en mayo y junio en las costa del Pacífico en la Península de Baja California. En estos periodos se observó un alto porcentaje de hembras maduras, esto coincide con los resultados de Hernández–Herrera *et al.*,(1998) para la costa de Guaymas, Sonora.

Más recientemente, Velázquez-Abunader *et al.*, (2010) describió un periodo más amplio de reproducción al encontrar organismos con actividad reproductiva en los meses de octubre, noviembre y febrero. Las principales áreas de desove han sido observadas sobre el talud continental o en aguas oceánicas adyacentes.

Se ha observado en diferentes ocasiones dimorfismo sexual entre hembras y machos siendo éstos de menor tamaño, además de que alcanzan la madurez sexual a menores tallas (Filauri., 2005; Velázquez-Abunader *et al.*, 2010). Cuando las diferencias no son significativas y la variabilidad entre las tallas de madurez es mínima, Díaz-Uribe *et al.*,(2006) sugieren que esto se debe a que la población se encuentra estable.

Nigmatullin *et al.*, (2001) usaron el índice de Lipinski y Underhill (1995) y la longitud de manto para detectar tres grupos de maduración sexual según la longitud de manto para machos y hembras. Los de tallas pequeñas (13–26 cm y 14–34 cm), medias (24–42 cm y 28–60 cm) y talla grande (>40–50 cm y 55–65 cm a 100–120 cm). Esto depende de las condiciones del ambiente ya que los cefalópodos presentan un alto nivel de variabilidad y una gran flexibilidad como parte de sus estrategias de reproducción esto influye de gran manera en sus historias de vida (Rocha *et al.*, 2001).

## 1.2 Taxonomía

Phylum: Mollusca Linnaeus, 1758

Clase: Cephalopoda Cuvier, 1797

Subclase: Coleoidea Bather, 1888

Super orden: Decabrachia Boettger, 1952

Orden: Teuthida Naef, 1916

Suborden: Oegopsida D'orbigny, 1845

Familia: Ommastrephidae Steenstrup, 1857

Sufamilia: Ommastrephinae Posselt, 1891

Género: *Dosidicus* Steenstrup, 1857

Especie: *Dosidicus gigas* D'orbigny, 1845 in 1834-1847.

Los calamares de la especie *Dosidicus gigas* se ubican taxonómicamente, de acuerdo con el sistema de clasificación de C. Linnaeus en (1707-1778). Como miembros del Phylum Mollusca, son un Phylum altamente distribuido y con una gran variedad de formas debido a que cada clase ha tenido modificaciones.

En su plan corporal aunque la mayoría presentan una simetría bilateral, un sistema circulatorio abierto, una masa visceral, una cutícula epidérmica que puede dar lugar al manto, el cual forma una cavidad, la presencia de una lengua muscular con hileras de diminutos dientes (rádula) en la cavidad bucal, un sistema excretor con metanefridios complejos y una estructura denominada pie. En los cefalópodos esta estructura se mantiene aunque se encuentra modificada en forma circular y de ahí se forman los brazos o tentáculos (Fernández Álamo, 2007). Esto se convierte en una característica para poder clasificar a los organismos dentro de la clase Cephalopoda ya que se dividen en dos super órdenes: los *Octobranchia* que poseen ocho brazos desprovistos de ventosas, son de cuerpo globoso y

**Distribución y abundancia del calamar gigante (*Dosidicus gigas*) en el Golfo de California utilizando hidroacústica de multifrecuencias durante junio de 2013**

carecen de aletas natatorias; el otro grupo son los *Decabanchia* que se caracterizan por presentar aletas laterales, ocho brazos de longitud semejante entre ellos y dos tentáculos más largos, además presentan una concha interna reducida que se denomina pluma (Cifuentes *et al.*, 1997).



Figura 1. Vista dorsal de *Dosidicus gigas*. Ejemplares capturados en el Golfo de California.

D'Orbigny(1835)describió a la especie actualmente conocida como *Dosidicus gigas* a partir de organismos capturados en el sureste del Océano Pacífico originalmente nombrada *Ommastrephes gigas*. Steenstrup (1857) introdujo el género *Dosidicus* para una nueva especie *Dosidicus eschrichtii* posteriormente Pfeffer(1912) sinonimiso a esta especie como *Dosidicus gigas* (Ehrhardt., 1980; Nigmatullin *et al.*, 2001). Actualmente el género *Dosidicus* cuenta con dos especies una especie extinta, *D. lomita* y la existente *Dosidicus gigas* (Figura 1.)

### 1.3. Distribución

*Dosidicus gigas* se distribuye en el Océano Pacífico Oriental (Figura 2). Su distribución descrita originalmente era desde 37°N hasta 47°S (Nesis, 1971; Wormuth, 1971). Ha sufrido dos eventos de expansión, uno después del evento de El Niño de 1997 y otro en 2002 donde se reportó que *D. gigas* llegó hasta Canadá (Figura 3) (Keyl *et al.*, 2008), longitudinalmente su distribución es a partir del talud continental hasta los 140°W (Nigmatullin *et al.*, 2001)

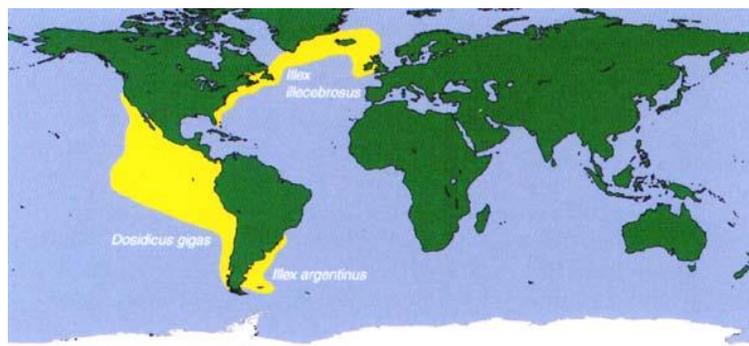


Figura 2. Mapa de distribución original de tres especies comerciales de cefalópodos, *Dosidicus gigas*, *Illex argentinus* e *Illex illecebrosus* (Mapa tomado de Rocha *et al.*, 2001).

Nigmatullin *et al.* (2001) describieron tres grupos de calamares por talla, en los cuales se observaba un claro cambio de la talla según su distribución; las tallas grandes se localizan en los extremos norte y sur de su distribución, las tallas medianas abarcan casi todo el intervalo de su distribución, exceptuando los rangos más altos de esta y los de tallas pequeñas se distribuyen principalmente en la región ecuatorial.

La distribución de *D. gigas* se ve limitada horizontalmente por la abundancia del ecosistema, se tiene registro de concentraciones densas de calamar en zonas con un alto potencial de energía oceánica; estas zonas que representan áreas de alta concentración de plancton (Nigmatullin *et al.*, 2001). Se ha visto que la temperatura no es un factor determinante en la

**Distribución y abundancia del calamar gigante (*Dosidicus gigas*) en el Golfo de California utilizando hidroacústica de multifrecuencias durante junio de 2013**

distribución de los adultos, aunque la temperatura puede ser un factor determinante para la sobrevivencia y desarrollo de las paralarvas (Gilly *et al.*, 2006; De Silva Dávila, en prensa).

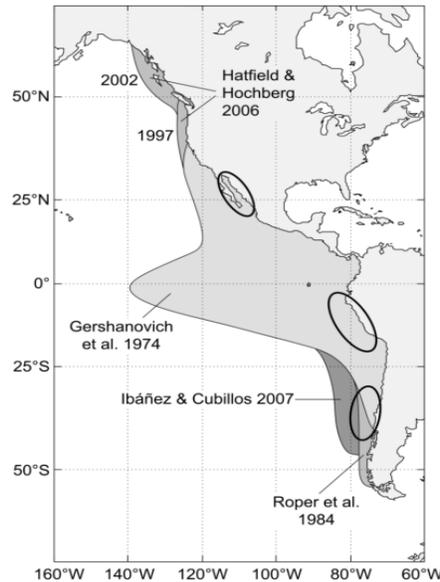


Figura 3. Mapa con los puntos de expansión en la distribución de *Dosidicus gigas* reportados por diferentes autores para diferentes años (Mapa tomado de Keyl *et al.*, 2008).

Las migraciones verticales del calamar gigante fueron estudiadas por Yatsu *et al.* (1999), Gilly *et al.* (2006) y por Salinas-Zavala *et al.* (2010), ellos descubrieron un patrón de migraciones verticales diarias hacia aguas profundas (>200 m), inclusive por debajo de la zona de mínimo oxígeno (ZMO) (<1 mL L<sup>-1</sup>) o condiciones hipóxicas (<0.5 ml O<sub>2</sub>L<sup>-1</sup>) durante el día. En la noche se distribuían en aguas someras (<100 m) y bien oxigenadas durante la noche aunque también pueden localizarse a mayor profundidad que la ZMO durante la noche.

Los organismos de esta especie tienen la capacidad fisiológica de tolerar habitar zonas con baja y alta concentración de oxígeno, pueden pasar fácilmente la capa mínima de oxígeno, por lo cual su distribución vertical no se ve afectada por esta variable ambiental. Esto lleva a

pensar que esta distribución se relaciona más con una migración vertical por alimentación, tal como describe Gilly *et al.*(2006) que suben al atardecer y al amanecer para alimentarse. Se ha observado que las zonas de alimentación de calamares inmaduros son en su mayoría cercanas a la costa (Nigmatullin *et al.*, 2001).

Uno de los patrones a tomar en cuenta para la distribución de los calamares es su gran capacidad natatoria y de migración; suelen migrar de zonas de alimentación a zonas de desove formando grupos densos. Su velocidad de natación oscila entre 5-10 a 20-25 km/h, por lo que pueden recorrer grandes distancias en un periodo relativamente corto (Nigmatullin *et al.*, 2001).

### **1.3.1. Distribución horizontal en el Golfo de California**

Uno de los primeros estudios de distribución de esta especie en el Golfo fue realizado por Edhart *et al.* 1986. Estos autores describieron un patrón de migración de invierno-primavera y otro de verano-otoño, junto con una asociación a las tallas de los organismos. Así mismo describe una entrada por la parte del centro de la boca del Golfo de enero hasta abril y señalaron que hay una estratificación de tamaños. De mayo a agosto aunque se mantiene este fenómeno se puede observar que los de mayor tamaño se encuentran cercanos a la zona de la costa y los de menor talla se encuentran en aguas más alejadas de la costa. De agosto a septiembre hay una migración hacia afuera del Golfo por parte de las tallas pequeñas mientras que las más grandes se quedan en zonas cercanas al puerto de Guaymas (Figura 4).

Mediante marcaje y recaptura convencionales realizados por Markaida *et al.* (2005) y experimentos de marcaje electrónico por Gilly *et al.* (2006), se ha descrito una migración entre ambas costas del Golfo de California. Esta especie presenta un patrón estacional muy

## Distribución y abundancia del calamar gigante (*Dosidicus gigas*) en el Golfo de California utilizando hidroacústica de multifrecuencias durante junio de 2013

definido localizándose de mayo a octubre en las costas de Santa Rosalía y de noviembre a mayo en las costas de Guaymas.

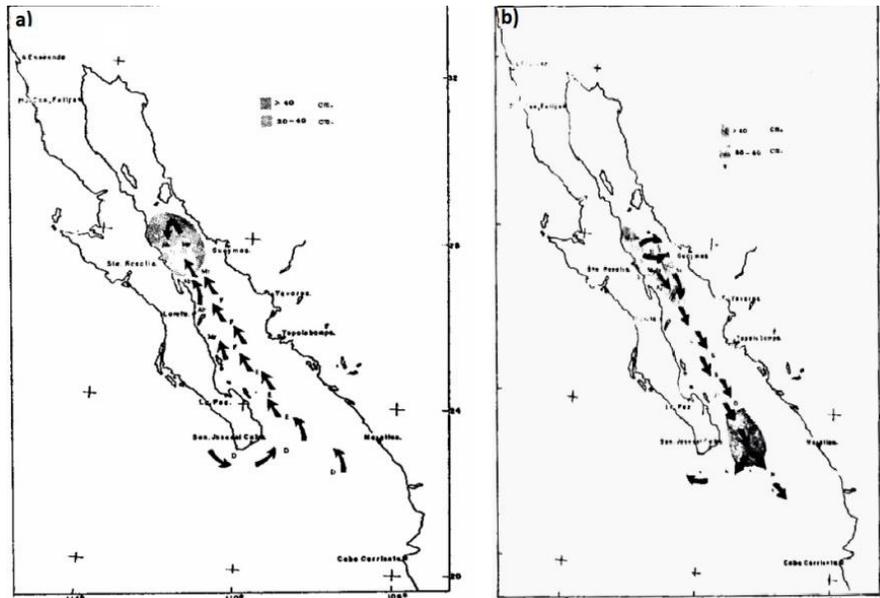


Figura 4. Modelo conceptual de la distribución y migración de *Dosidicus gigas* durante 1980  
a) Mapa con el patrón de migración observado de invierno a primavera; b) Mapa con el patrón de migración de verano a otoño (Mapa tomado de Edhart *et al.*, 1986).

### 1.4. Importancia ecológica

*Dosidicus gigas* es una especie clave y de gran importancia ecológica en el ecosistema pelágico. Esta especie presenta una amplia distribución y en ocasiones una gran abundancia. Estos cambios pueden ser controlados por el tamaño y, la distribución poblacional de sus depredadores, así como por la energía y su flujo en el ecosistema pelágico (Rosas-Luis, 2005)

*D. gigas* es un depredador activo sumamente voraz que se alimenta de peces, principalmente mictófidios y en menor proporción sardina del Pacífico y congéneres (caníbal).

Otras especies que consume son las langostillas, copépodos, y eufáusidos (Nigmatullin, *et al.*, 2001; Markaida y Sosa-Nishizaki., 2003). Se conoce, por estudios en aguas Peruanas, que la alimentación varía según el estadio del ciclo de vida y por tamaño de los organismos.

Esta especie también presenta un comportamiento de canibalismo, las presas de este comportamiento pueden llegar a medir hasta el 87% del tamaño del depredado (Markaida y Sosa-Nishizaki., 2003); por ejemplo, si el depredador mide 50 cm de longitud del manto este puede capturar y matar un organismo de hasta 43 cm de LM.

Así también, esta especie es alimento de grandes peces pelágicos como: dorados (*Coryphaena hipurus*), varias especies de atún, algunos mamíferos como lobos marinos (Figura 5), delfines cachalotes (*Physeter macrocephalus*) y tiburones (Nigmatullin *et al.*, 2001). También puede competir por alimento con ciertas especies de peces pelágicos, tales son el caso del dorado, el marlín y el atún entre otras especies.



Figura 5. Lobo marino alimentándose de un calamar de la especie *Dosidicus gigas* en California (fotografía tomada de socialbirding.com).

Una de las características más importantes de los cefalópodos y particularmente en esta especie, es la alta capacidad y flexibilidad en estrategias para adaptarse a los cambios de su ambiente (Hoving *et al.* 2013). Waluda *et al.* (2006) han mencionado que las poblaciones de este organismo suelen presentar una alta tasa de fluctuaciones en su abundancia, como una respuesta a la variabilidad de su medio.

## 1.5. Importancia económica-pesquera de los cefalópodos

La pesquería de cefalópodos es una actividad económica relevante a nivel mundial (FAO, 2014). La pesca de especies ampliamente explotadas y de algunas especies no tan explotadas de cefalópodos, se asocia a tres tipos de ecosistemas marinos, unos son aquellos que están asociados a sistemas oceánicos de alta velocidad (las corrientes occidentales de contorno); otros, los asociados a la corriente circumpolar antártica y, por último los asociados a los sistemas de surgencias costeras (Boyle y Rodhouse, 2005).

Algunas de las especies más grandes de calamares de la familia Ommastrephidae habitan en los sistemas de bordes orientales, desarrollando diferentes estrategias en las historias de vida y permitiéndoles utilizar a su favor estos sistemas; por ejemplo, el transporte de las fases planctónicas (paralarvas), ampliando su distribución y explotando la producción secundaria generada por estos sistemas (Boyle y Rodhouse., 2005).

Algunos cefalópodos de gran importancia pesquera *Dosidicus gigas*, el loliginido *Loligo opalescens* en la costa de California y del pulpo *Octopus vulgaris* en el noreste de África), habitan ecosistemas de surgencias costeras caracterizados por ser corrientes de baja velocidad.

La pesquería de esta Clase ha ido tomando mayor relevancia y ha contribuido de manera significativa a la actividad pesquera con el paso de los años aportando más de cuatro millones de toneladas anuales (FAO, 2014). Las especies *Illex argentinus*, *Octopus mimus* y *Dosidicus gigas* son los cefalópodos de mayor valor pesquero de Latinoamérica. La pesquería de *Dosidicus gigas* se lleva a cabo en tres regiones principalmente: en Perú y en el domo de Costa Rica, donde se le conoce como pota, giba o calamar de Humboldt y en México, donde se le conoce como calamar gigante (Boyle y Rodhouse, 2005).

### 1.5.1. Pesquería en México

En México, la principal zona de pesca de esta especie se localiza en el Golfo de California. Debido a los grandes volúmenes de captura y su establecimiento como pesquería alternativa durante la veda de camarón, el calamar gigante constituye un recurso pesquero económicamente importante para Guaymas y Santa Rosalía, aunado a esto existe una alta demanda por parte de los mercados asiáticos, lo cual promueve la generación de empleos tanto en la etapa de captura como en la de procesamiento aunque el consumo interno (nacional) es bajo debido a que no se conoce mucho acerca de sus valores nutricionales (Luna-Raya *et al.*, 2009; De la Cruz-González *et al.*, 2011).

Actualmente, la pesquería del calamar gigante en el Golfo de California se desarrolla en diferentes áreas, dependiendo de la época de año, esto se debe principalmente a que la abundancia, la distribución y la disponibilidad suelen ser muy variables (Bazzino *et al.*, 2007). Sin embargo, a partir de 1994 se ha observado un patrón estacional marcado, que se ha empleado para la explotación del recurso estableciendo dos principales puertos pesqueros: uno a la altura de Guaymas, Sonora y otro en Santa Rosalía, Baja California Sur (Markaida y Sosa-Nishizaki 2001; Luna-Raya *et al.*, 2009).

Las primeras capturas reportadas de *D. gigas* en el Golfo de California fueron en 1971 por barcos japoneses. Posteriormente, en 1974 se estableció la pesquería mediante una flota artesanal. Generalmente la pesquería de esta especie se realiza por medio de embarcaciones de fibra de vidrio de 8 a 10 m de eslora con capacidad de 1.5 a 3 toneladas, con motor fuera de borda. A partir de 1979 se incorporaron a la pesquería barcos japoneses con líneas de pesca accionadas por máquinas automáticas. Después con el incremento de captura de esta pesquería se introdujeron barcos modificados utilizados para pesca de otros tipos de organismos como el camarón (capacidad de almacenamiento <50 t (Morales-

## Distribución y abundancia del calamar gigante (*Dosidicus gigas*) en el Golfo de California utilizando hidroacústica de multifrecuencias durante junio de 2013

Bojórquez, *et al.*, 2001; Luna-Raya *et al.*, 2009; Saldaña Hernández, 2008; De la Cruz-González *et al.*, 2011).

La regulación y el manejo de esta pesquería en el Golfo de California actualmente implican implementar una tasa de escape de aproximadamente 40% y controlar los permisos de pesca. Sin embargo, esta estrategia no toma en cuenta distintas variables como: reproducción en todo el año con producción múltiples cohortes, la plasticidad fenotípica, o alta sensibilidad a los cambios en el ambiente (Morales-Bojórquez, *et al.*, 2001; Robinson *et al.*, 2013).

Esta pesquería ha sufrido modificaciones en los volúmenes y tallas de las capturas; en 1982 esta especie desapareció del Golfo de California por cerca de una década para reaparecer en 1989, seguida de un rápido incremento en las pesquerías hasta que se presentó otro evento de decremento en las capturas durante 1997-1998 acompañada de una reubicación de la pesquería (que hasta entonces se había concentrado en el Golfo de California) hacia las zonas de Guaymas y Santa Rosalía, zonas que se mantienen hasta la actualidad, y otro evento, 1998-1999, en el que las tallas pequeñas representaban una mayor proporción de las capturas (Morales-Bojórquez *et al.*, 2001; Rosas-Luis *et al.*, 2008).

Esta variabilidad se ha asociado a eventos climáticos o variabilidad en el ecosistema, por ejemplo, en los dos últimos periodos de decremento se asoció al ENSO que incluyó los eventos de El Niño de 1997-1998 y La Niña de 1998-1999 (Nevárez-Martínez *et al.*, 2006; Lluch-Cota *et al.*, 1999).

En los últimos años (2010-2013), la pesca del calamar en el Golfo de California ha mostrado una drástica caída y que se ha sostenido en estos bajos niveles, particularmente en Guaymas, Sonora (Robinson *et al.*, 2013) (Figura 6). Aparte de las bajas en las capturas, se

ha observado un fenómeno de enanismo (disminución promedio de la longitud de manto de los individuos maduros) que suele darse como una respuesta ante condiciones adversas. Hoving *et al.*, (2013) sugieren que durante el período de julio de 2009 a abril de 2010 existió un evento de El Niño de larga duración, que disminuyó las surgencias.

Mediante un análisis de las anomalías de los datos mensuales de clorofila-a por medio de registros satelitales de 2000 a 2013, se ha demostrado cómo las capturas de esta pesquería se ven directamente afectadas por los cambios en las concentraciones de clorofila-a y temperatura (Robinson, *et al.*, 2013).

Existen otros eventos relacionados con esta caída sostenida de la pesquería, recientemente se ha inferido que esta caída, responde a la disminución promedio de la velocidad de los vientos que generen un cambio en la productividad del ecosistema mediante las surgencias (Robinson *et al.*, sometido a revisión).

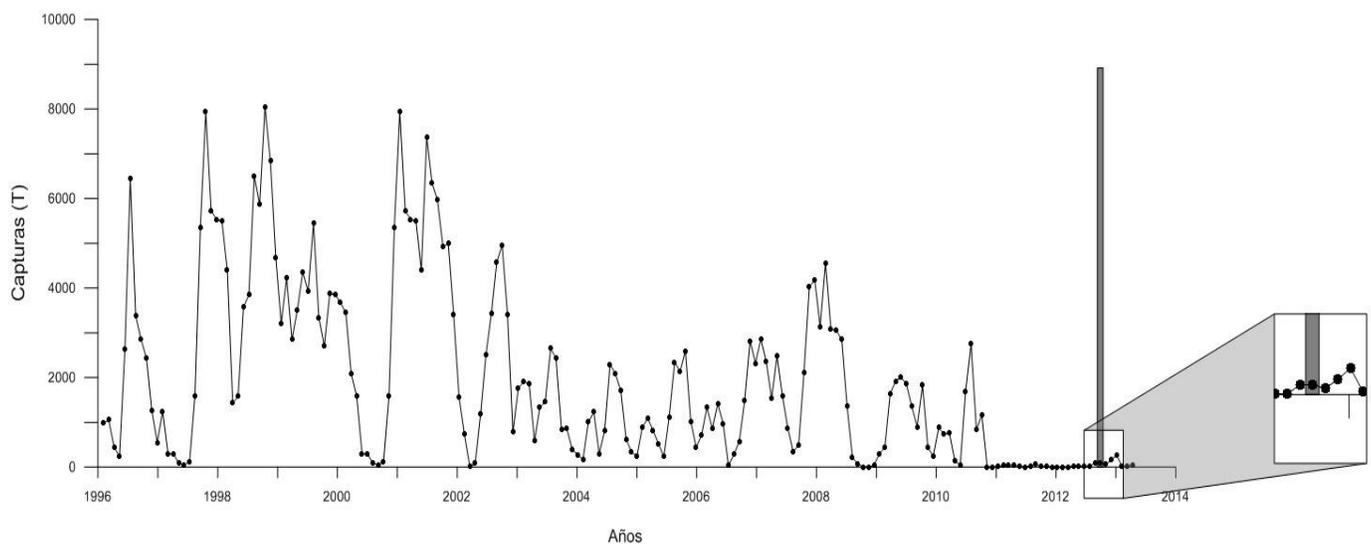


Figura 6. Datos históricos de captura de *Dosidicus gigas* por desembarque en Guaymas, Sonora. La línea gris indica la ubicación temporal del crucero efectuado en Junio de 2013. Se muestra también un recuadro con un acercamiento para expresar la situación pesquera de este cefalópodo durante este estudio.

## **1.6. Importancia de los métodos hidroacústicos para el manejo de la pesquería**

La luz no es capaz de penetrar más allá de los primeros metros de la superficie del agua, pero el sonido sí. Esto debido a su eficiencia no solo viaja en el agua sino que cubre grandes distancias, presenta una mayor velocidad y una mejor conservación de su energía, siempre se deben tener en cuenta los fenómenos de dispersión y de absorción, esta última generada por partículas en el medio (por ejemplo sal) debido a causa de este fenómeno, la distancia que puede recorrer una onda de sonido es menor; pero aun tomando en cuenta estas variables, el uso del sonido en el agua es más eficiente que en el aire (Simmons y MacLennan, 2007). El uso de la hidroacústica es uno de los principales métodos utilizados en diferentes países para estimar biomas de distintos recursos pelágicos de interés pesquero (Misund, 1997). La hidroacústica existe en la naturaleza donde algunas especies como delfines y ballenas lo usan para ecolocalizar su alimento y comunicación.

La hidroacústica es el uso de forma controlada de la energía del sonido con el objetivo de observar, localizar y medir debajo del agua (BioSonics, 1998). La hidroacústica fue originalmente aplicada con fines bélicos para la detección de submarinos, posteriormente después de la segunda guerra mundial esta tecnología se ha vuelto más comercial apoyando a las pesquerías para la detección, ubicación y estimación de abundancia de algunos recursos pesqueros (Simmonds y MacLennan, 2007; BioSonics.,1998) .

Para algunas especies se tiene caracterizado como responden a diferentes longitudes de frecuencias de sonido (por ejemplo para distinguir zooplancton de cardúmenes de sardina). Para *Dosidicus gigas*, Benoit-Bird *et. al* (2008) realizaron una serie mediciones con organismos capturados y manipulados para ponerlos debajo del transductor multifrecuencia para determinar la firma su acústica de especímenes recolectados en Guaymas, Golfo de California. Esta caracterización permite la identificación de blancos acústico para estimar su

distribución y abundancia tridimensional. Otros de los trabajos a partir de hidroacústica se tienen los estudios de comportamiento, migración vertical y horizontal como los trabajos realizados por Hovinget *al.*, 2013 y Avilés Díaz, (2013).

### **1.7. Justificación**

El calamar gigante *Dosidicus gigas* es un recurso pesquero importante en el Golfo de California, sin embargo, las capturas actuales de este recurso se encuentran a sus más bajos niveles registrados desde hace más de 15 años. Bajo estas condiciones es relevante conocer las características demográficas de los organismos que actualmente habitan en el Golfo de California, como talla, estado de madurez sexual, proporción de hembras y machos; además de determinar la distribución y abundancia de esta especie, debido a que *Dosidicus gigas* es clave para las redes tróficas, ya que, con el decremento de su población se afecta severamente la dinámica entre sus presas y depredadores.

El caracterizar estos parámetros puede ayudar a detectar zonas de altas densidades y determinar un mejor manejo pesquero, que tome en cuenta las condiciones del hábitat de manera que las medidas a adoptar por el sector pesquero, tengan en cuenta la abundancia de esta especie, para evitar acabar con el recurso, afectando la pesquería y el ecosistema del Golfo de California.

Para poder conocer la distribución y biomasa es útil e importante el uso de la hidroacústica de multifrecuencias, entre mayor número de frecuencias aumenta el grado de certidumbre sobre los ecos asociados; en el caso de *Dosidicus gigas*, la implementación de este método en el Golfo de California es muy reciente (2006) y todavía es necesario definir los parámetros para una mejor estimación del recurso.

## **Distribución y abundancia del calamar gigante (*Dosidicus gigas*) en el Golfo de California utilizando hidroacústica de multifrecuencias durante junio de 2013**

Este trabajo se realizó utilizando dos ecosondas científicas SIMRAD de distinta frecuencias (38 y 120 kHz) durante un periodo considerado como críticamente bajo en la pesquería de este cefalópodo con la finalidad de conocer cómo son las condiciones del ambiente, si éstas están afectando la abundancia, como se ven estos cambios reflejados en la pesquería de esta especie clave y en qué condiciones se encuentra el recurso.

### **2. Objetivo general**

Realizar una prospección hidroacústica con dos frecuencias (38 y 120 kHz) durante la época de transición frío-cálido (Junio 2013) para inferir la abundancia y patrones de distribución de *Dosidicus gigas* en la parte central del Golfo de California durante un año con extremadamente baja captura comercial de esta especie.

### **3. Objetivos particulares**

- Definir los procedimientos para la identificación acústica del calamar gigante mediante el uso de multifrecuencias (120 y 38 kHz).
- Definir la abundancia y las zonas de distribución del calamar gigante (*D. gigas*) mediante hidroacústica y su corroboración con muestreos de pesca por medio de poteras, cámara submarina y avistamientos superficiales.
- Conocer la proporción sexual entre hembras y machos, el estado de madurez sexual de los organismos y definir la distribución de frecuencias de la longitud de manto dorsal (LDM).
- Describir las condiciones oceanográficas *in situ* durante junio del 2013 en la parte central del Golfo de California.
- Describir las condiciones de la temperatura y concentración de la clorofila-a superficial en todo el Golfo de California mediante el análisis de datos satelitales.

#### 4. Área de estudio

El Golfo de California (Figura 7) alberga una gran diversidad de especies marinas de afinidad biogeográfica tropical, templada y de transición templado-tropical con características hidrográficas únicas (Casas-Valdez y Pónce-Díaz, 1996).

Una de las variables que mayormente influencia la diversidad y distribución vertical de las especies en el Golfo de California es la capa mínima de oxígeno. Parker(1964) mencionó que la zona norte por ser somera no es afectada por el proceso de hipoxia de forma severa, aunque en la zona frente a la costa de Sinaloa la capa mínimo oxígeno es muy amplia y se extiende de 150-750 m (Lluch Cota *et al.*, 2007).

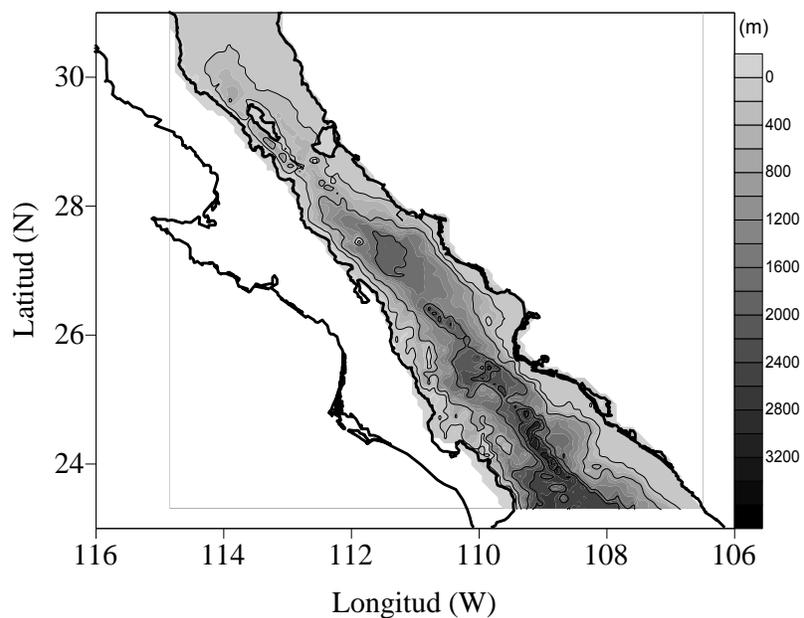


Figura 7. Localización geográfica y batimetría del Golfo de California (Área de estudio).

En el Golfo de California, las condiciones de la superficie del océano son fuertemente influenciadas por la fuerza de los procesos oceanográficos y atmosféricos. La dinámica oceánica de esta zona se ven influenciadas en boca del Golfo de California por la Corriente

## **Distribución y abundancia del calamar gigante (*Dosidicus gigas*) en el Golfo de California utilizando hidroacústica de multifrecuencias durante junio de 2013**

de California, que le da una característica templada y por la corriente Norecuatorial que le da las características tropicales (Casas-Valdez y Ponce-Díaz, 1996). Debido a la acción de estas corrientes, en el Golfo de California se puede observar una zona templada en la región central aunque la zona donde se mantiene una temperatura más baja a lo largo del año es al suroeste de las Grandes Islas (Tiburón, Ángel de la Guarda, Canal de Salsipuedes, Isla San Esteban) mientras que en la boca del Golfo de California predominan elevadas temperaturas (Lluch Cota *et al.*, 2007).

Otro de los puntos a favor de la gran biodiversidad del Golfo de California es que es una zona de elevada biomasa particularmente en regiones con eventos de surgencias costeras forzadas por vientos. Los vientos del noroeste desplazan la capa superficial del agua mar adentro provocando que el agua rica en nutrientes localizada subsuperficialmente ocupe el lugar el agua desplazada provocando un aumento en la productividad primaria y posteriormente secundaria (Casas-Valdez y Ponce-Díaz, 1996).

La productividad del sistema está dada por la mezcla de marea aportando un flujo continuo de agua rica en nutrientes hacia la capa eufótica y por las surgencias anteriormente descritas, que llevan el agua de las islas y de la costa este hacia el lado de la península, haciendo que el fitoplancton quede atrapado dentro de la cuenca (Lluch Cota *et al.*, 2007).

Las concentraciones de clorofila-a muestran un marcado patrón estacional: bajas concentraciones promedio en verano y altas en invierno y primavera (Figura 8). Después del evento de El Niño en 1997-1998, durante el cual la biomasa del fitoplancton fue baja, siguió un periodo de anomalías positivas continuó hasta 2002, a partir de ese año hubo una fluctuación entre anomalías positivas y negativas hasta 2010, en que se observó un fenómeno de baja clorofila-a, el cual se sostuvo hasta 2013 (Robinson *et al.*, 2013).

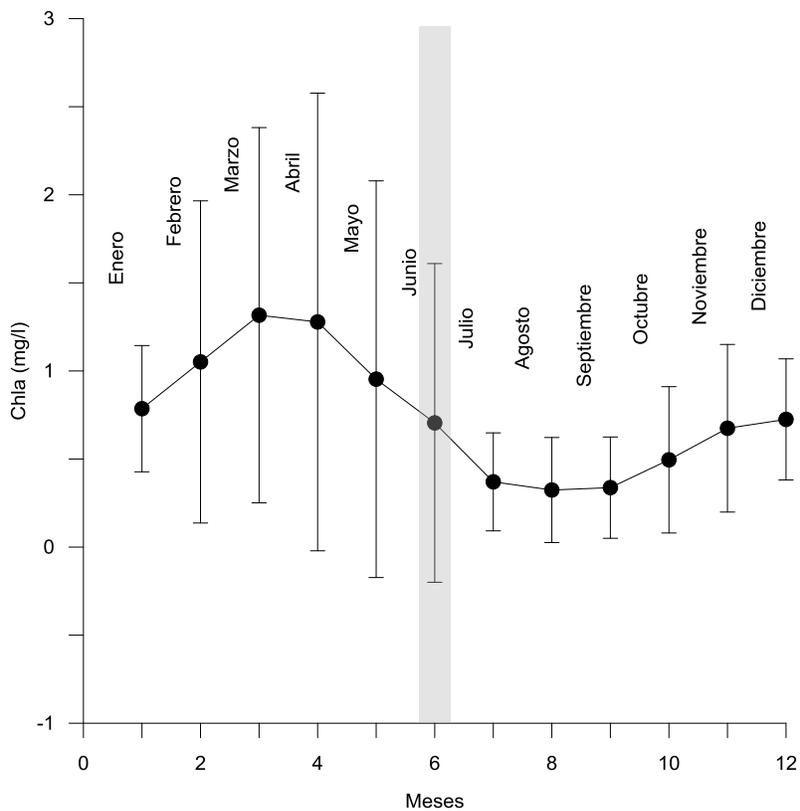


Figura 8. Promedio mensual de clorofila-a en el periodo 1990 a 2013 en el Golfo de California a partir de datos satelitales obtenidos por MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer) TERRA, de 4 km de resolución. La barra color gris indica el mes en el que se realizó este estudio.

Una de las dinámicas oceanográficas de gran relevancia y de las más estudiadas son los cambios estacionales en la circulación de las corrientes, se dan mediante una serie de grandes giros de junio a septiembre, los giros ciclónicos, y de noviembre a abril los anticiclónicos (Lluch Cota *et al.*, 2007). Para la parte Sur o la boca del Golfo de California se observa una entrada de masa de agua en verano y una salida en invierno, esto requiere la compensación de las masas de agua mediante corrientes ciclónicas profundas (Lluch Cota *et al.*, 2007).

Se ha observado que dentro del Golfo la tendencia de las variables físicas como la

## **Distribución y abundancia del calamar gigante (*Dosidicus gigas*) en el Golfo de California utilizando hidroacústica de multifrecuencias durante junio de 2013**

temperatura es la de incrementar de Sur a Norte, para esta última zona se han detectado cambios dramáticos de invierno a verano (Figura 9) en la temperatura superficial del mar (SST por sus siglas en inglés) y en la estructura de la comunidad.

Por lo que los cambios en ésta y otras variables afectan a la dinámica de los ecosistemas. Una de las zonas donde el gradiente en la intensidad del cambio es menor es el área de las Grandes Islas, aquí se mantienen relativamente constantes las condiciones de temperatura fría y la concentración de clorofila-a, debido a una mezcla casi permanente.

Durante el evento de El Niño (ENSO) del año 1997-1998, en el Golfo de California se registraron las mayores anomalías positivas de temperatura ( $>3$  °C). Los cambios en la temperatura afectados por este fenómeno tienden a ser más fuertes en la región que se encuentra al Sur, debajo de las Grandes Islas. Álvarez-Borrego y Lara-Lara (1991) detectaron que la influencia del ENSO en la producción primaria no es significativa (Lluch Cota *et al.*, 2007).

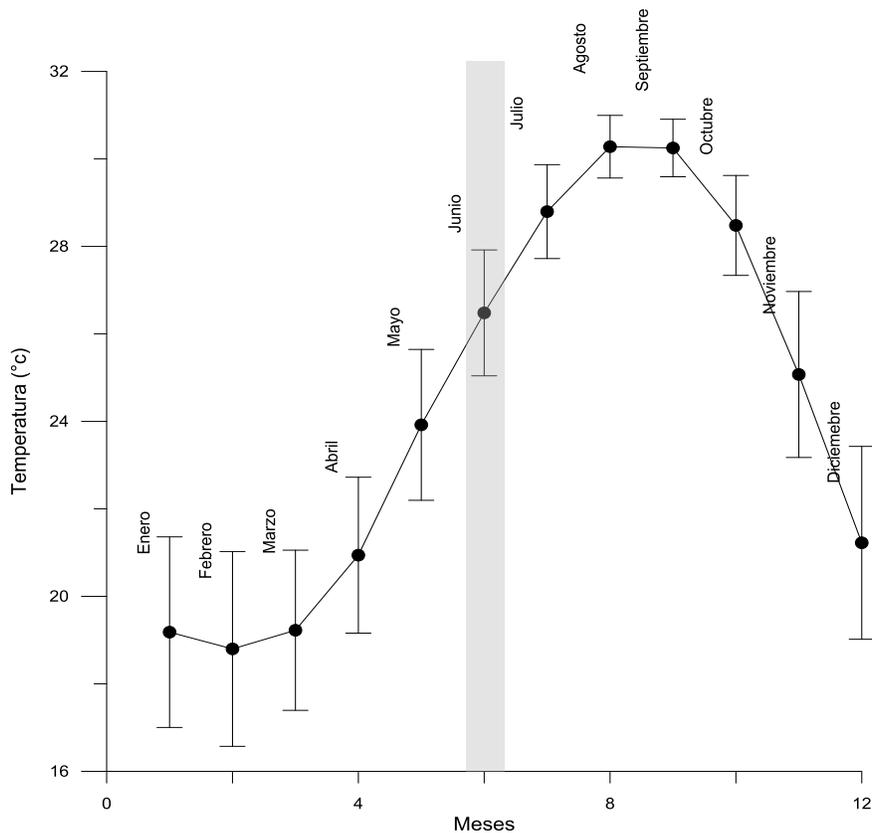


Figura 9. Promedios mensuales de la temperatura superficial del mar de 1990 hasta 2013 en el Golfo de California obtenidos por el satélite MODIS TERRA, de 4 km de resolución. La barra color gris indica el mes en el que se realizó este estudio.

Hoving *et al.*(2013) han sostenido la hipótesis de que el evento El Niño ocurrido durante 2009-2010 fue el responsable del desplome en la pesquería, debido a que este evento aumentó la SST, generando una termoclina más profunda y un decremento en la producción primaria. Esto lleva a pensar que no solo se trató del efecto de este fenómeno, sino que otros efectos pudieron haber afectado durante este periodo. Robinson *et al.*, (2013) mencionaron que desde 1998 (después del fenómeno de La Niña) hasta principios de 2004 existieron anomalías positivas en el índice de surgencias costeras (CUI), pero que a partir de este periodo y hasta mediados de 2012 los eventos de surgencias fueron débiles y se representaron como anomalías negativas; esto debido a una baja en la velocidad de los vientos (Figura10), siendo la zona de Guaymas un ejemplo de estas anomalías.

**Distribución y abundancia del calamar gigante (*Dosidicus gigas*) en el Golfo de California utilizando hidroacústica de multifrecuencias durante junio de 2013**

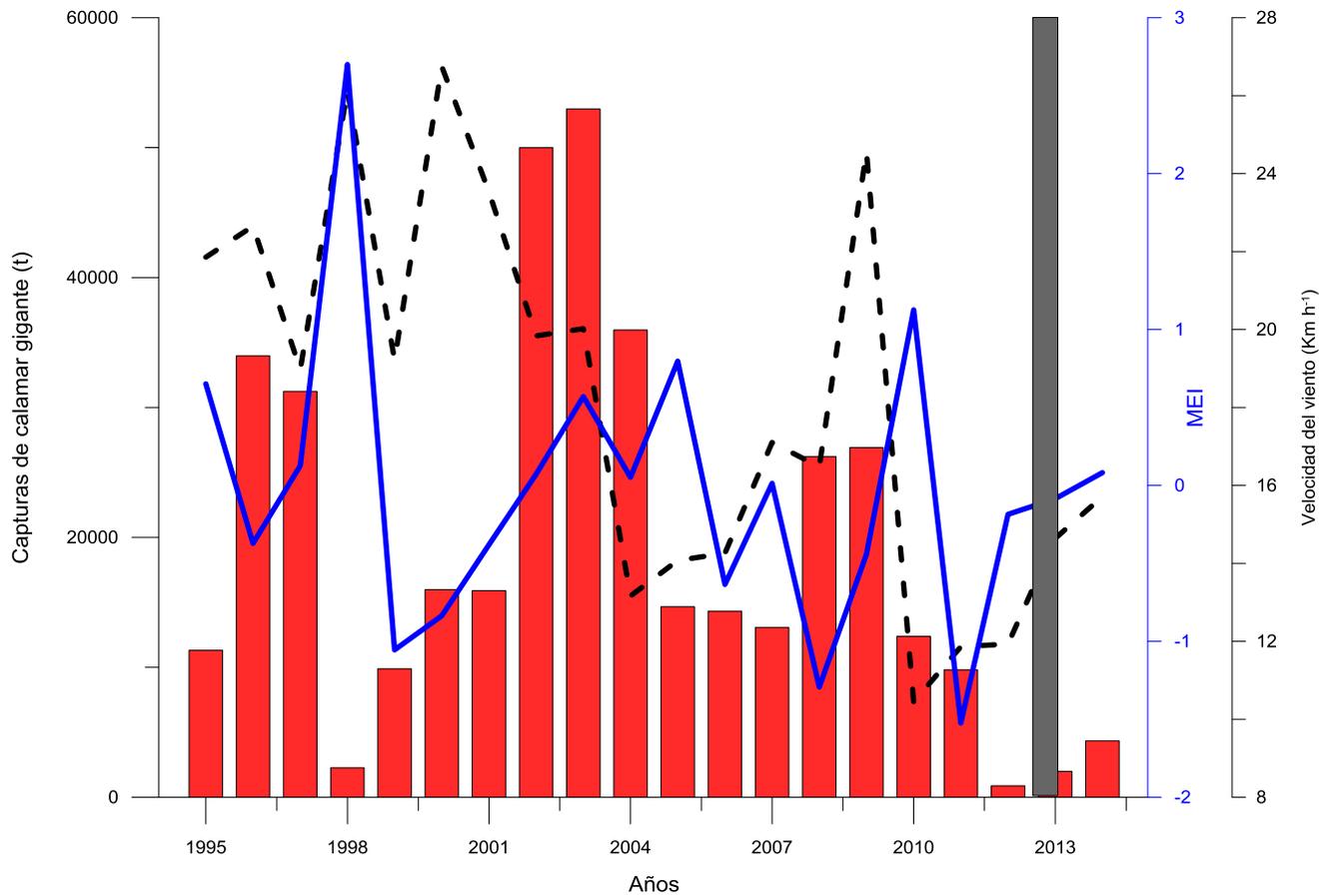


Figura 10. Viento sostenido medio de febrero a marzo, Índice del canónico Niño MEI y captura de calamar en la zona de Guaymas. Las barras rojas representan la captura de *Dosidicus gigas*. La línea negra indica las variaciones del índice MEI para el evento del Niño. La línea gris indica la fecha en que se realizó este trabajo.

## 5. Material y Método

Los datos hidroacústicos y biológicos fueron obtenidos a bordo del B/O El Puma, de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), durante la campaña oceanográfica ‘Calamares Golfo 2’ realizada por miembros del Laboratorio de Ecología de Pesquerías del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología de la UNAM, del 11 al 29 de junio 2013. El derrotero (Figura 11) cubrió la región de las Grandes Islas, la zona centro del Golfo de California y las costas de Baja California y Sonora (29.8- 23.8° N y 113.7 a 108.8° W).

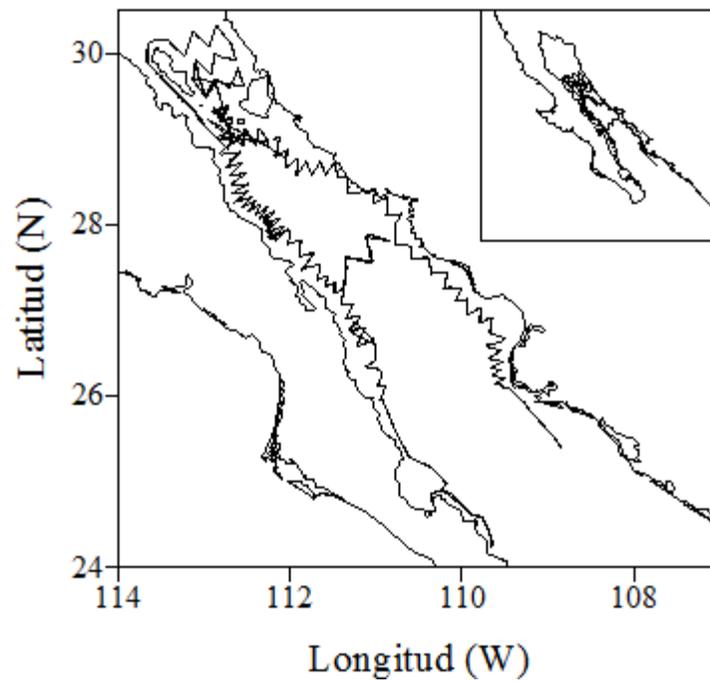


Figura 11. Derrotero (línea negra continua) del B/O el Puma durante junio 2013. A lo largo de este derrotero se realizaron un total de 97 estaciones.

## 5.1. Obtención de los datos

### 5.1.1. Hidroacústica

El registro de datos acústicos se realizó por medio de dos transivers y dos transductores de 120 y 30 kHz de frecuencia. El transductor de 120 kHz fue un Simrad ES120-7CD de haz dividido, con un ángulo de salida de 7° y una potencia máxima de salida de 500 W. El transductor de 38 kHz fue un Simrad ES38-12 de haz dividido, con un ángulo de salida de 12° y una potencia máxima de salida de 500 W. Los transductores fueron instalados en el pozo de instrumentos del buque a una profundidad de 4 m. La repetición del pulso fue de un ping (pulso) por segundo.

Mediante el programa EK60 de SIMRAD se realizó la adquisición de datos hidroacústicos (Figura 12). Todos los datos acústicos fueron geoposicionados con un sistema de

## Distribución y abundancia del calamar gigante (*Dosidicus gigas*) en el Golfo de California utilizando hidroacústica de multifrecuencias durante junio de 2013

posicionamiento global (GPS), marca Trimble modelo AgGPS 132.

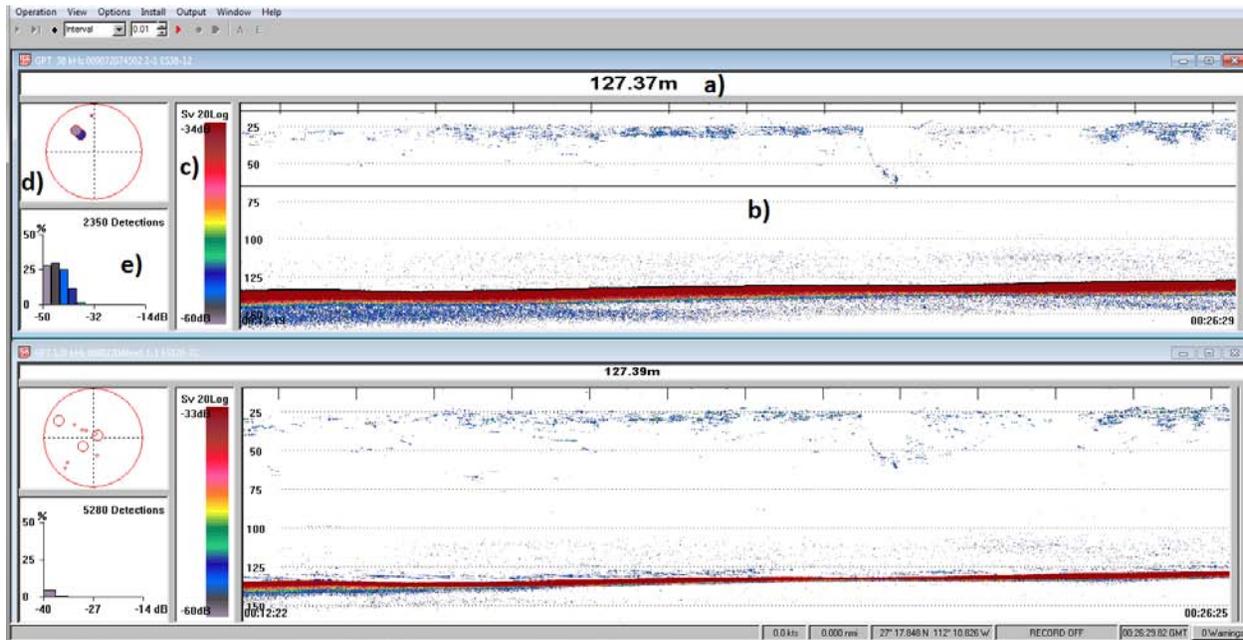


Figura 12. Ecogramas generados mediante el programa EK60 para ambas frecuencias (38 y 120 kHz). a) Profundidad del fondo marino. b) Ecograma, aquí se observan todos los registros de ecos. c) Escala de colores para la intensidad de los ecos. d) Gráfico de la posición de los ecos por cuadrantes dentro del haz. e) Gráfico con las frecuencias de los dB de los ecos. Existe cada uno de los paneles para cada una de las frecuencias.

Para la identificación de la ‘firma acústica’ del calamar, además de junio 2013 se utilizaron datos hidroacústicos y de pesca obtenidos en dos campañas oceanográficas denominadas ‘Calamares Golfo 3’ y ‘Calamares Golfo 4’ realizadas en el Golfo de California durante febrero 19-20, y agosto 18-19 de 2014. Para la detección de los ecos de calamares con mayor precisión el buque permaneció anclado enfrente de Santa Rosalía (27°18.3 N, 112°107.1 W en febrero y 27° 20.8 N, 112°15.5 W en agosto) Durante estos dos anclajes se obtuvieron datos acústicos continuos desde las 18.00 h hasta las 8.00 h.

### 5.1.2. Pesca

Para la corroboración de los datos acústicos y el estudio biológico del calamar, se realizaron muestreos nocturnos de las 20.00 h hasta las 06.00 h para la captura de calamares. Se utilizaron poteras de 2,3 y 5 coronas (Figura 13), con un tiempo estandarizado de 30 minutos. La línea o piola de cada potera fue de 200 m de longitud, cada una de ellas enrolladas en un carrete de plástico.



Figura 13. Poteras de 2, 3 y 5 coronas, con un hueso fosforescente, arte de pesca utilizado para esta investigación.

A los calamares capturados se les midió la longitud dorsal del manto (LDM). Así también, los organismos capturados se disectaron para conocer el sexo y se determinó su estado de madurez sexual utilizando el índice gonádico de Lipinski y Underhill (1995). Durante febrero y de agosto de 2014 con el barco anclado, la pesca se realizó cada hora con un tiempo de muestreo de 30 minutos.

### 5.1.3. Cámara submarina

Para la identificación de los blancos acústicos se utilizó un vehículo operado remotamente (ROV) Seabotix modelo LBV 140. Este sistema tiene una cámara a color de alta resolución

## **Distribución y abundancia del calamar gigante (*Dosidicus gigas*) en el Golfo de California utilizando hidroacústica de multifrecuencias durante junio de 2013**

con la capacidad de girar 180°, lo que le confiere un rango de visión de 270° en vertical. Cuenta con iluminación propia mediante focos de halógeno de 50/75 watts, así como con sensores de profundidad y rumbo. Este ROV tiene un cable óptico de 7.4 mm de diámetro y 330 m de largo, una consola de control y una fuente de alimentación de 90-260 voltios.

El ROV fue lanzado al mar desde la plataforma de trabajo al estribor del barco y se encendió la consola e inició la adquisición de datos en discos DVD-RAM. El ROV fue asegurado con el cable del winche, el cual llevaba un muerto y se bajó manualmente a la superficie del agua.

La profundidad máxima a la que bajo la cámara en cada estación se decidió con base en la profundidad de la capa de dispersión más densa detectada en el ecograma. El ROV se mantuvo en la misma profundidad, subió o bajó dependiendo de la capa de dispersión y lo observado durante el muestreo. Los muestreos se realizaron de noche y el tiempo estandarizado para el muestreo fue de 30 minutos al final del cual se subió el ROV y cuando estuvo de nuevo en la superficie del agua se terminó la toma de datos.

### **5.1.4. Avistamientos de calamares en superficie**

En todos los puntos donde el barco se detuvo se prestó atención a la superficie del agua para observar la presencia o ausencia de calamares. Cuando se observaron organismos en la superficie, se registraron la hora, posición del barco, el número y tamaño aproximado de los organismos.

### **5.1.5. Datos de CTD**

Durante el día se realizaron puntos de muestreos oceanográficos a lo largo de la columna de agua mediante datos de conductividad, temperatura y profundidad (CTD).

El CTD se compone de un conjunto de sondas añadidas a una roseta de metal equipada con botellas Niskin de 10 L para la toma de muestras de agua. La profundidad máxima del muestreo en la columna se delimitó a 150 m de profundidad y en estaciones donde la batimetría del área fue superior a los 700 m el muestreo se extendió hasta la profundidad de 400 m.

De esta forma conforme el CTD bajaba, se pudieron observar las características de la columna de agua como se modifican, de esta forma se midieron las variables de profundidad, temperatura, concentración de oxígeno disuelto, porcentaje saturación de oxígeno, salinidad y fluorescencia; este último como método para inferir la concentración de clorofila-a.

Las botellas se cerraron de forma selectiva mediante consola conectada con cable óptico, estas muestras de agua se tomaron de la siguiente forma, una botella estandarizada para todos los muestreos a 5 m por debajo de la superficie del agua, una segunda muestra se tomó a la profundidad donde ese encontró el valor máximo de fluorescencia y la tercera se tomó 30 m por debajo del pico máximo de fluorescencia. De cada muestra se obtuvo un duplicado, esto quiere decir que se llenaron dos botellas para cada profundidad.

#### **5.1.6. Datos Satelitales**

Mediante el uso de datos satelitales del sensor MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer) a bordo del satélite TERRA de la NASA (Administración Nacional de la Aeronáutica y del Espacio) se obtuvieron los datos satelitales de temperatura superficial del mar (abreviado SST por sus siglas en inglés) y de clorofila-a (Chl-a) de la página:

<http://oceandata.sci.gsfc.nasa.gov/MODIST/Mapped/>

## **Distribución y abundancia del calamar gigante (*Dosidicus gigas*) en el Golfo de California utilizando hidroacústica de multifrecuencias durante junio de 2013**

Este sensor obtiene información diaria alrededor de todo el planeta en celdas de 4 Km<sup>2</sup>. La información se tiene almacenada en bases de datos anuales, mensuales, semanales y diarios. Se usó la base de datos semanales y particularmente, los datos de la semana 21 (10-17 Junio) y la semana 22 (18-25 Junio) del año 2013.

### **5.2. Análisis de datos.**

Para saber y describir las características del ambiente se analizaron los datos satelitales más los datos obtenidos *in situ* del CTD.

#### **5.2.1. Mapa base del Golfo de California**

Para obtener una delimitación más precisa del área de estudio, se obtuvieron las coordenadas de los contornos de las islas Ángel de la Guarda, Tiburón, San Esteban, San Lorenzo, Canal de Salsipuedes y la Isla Partida desde Google Earth. Mediante el programa estadístico Minitab 16 se transformaron las coordenadas en millas y minutos a formato decimal que pueda ser analizado con el programa Surfer 8 para generar las figuras bases del Mapa.

#### **5.2.2. Mapas satelitales**

Los datos de SST y Chl-a satelitales se visualizaron con el programa HDF Explorer. El análisis se realizó mediante una serie de algoritmos que se desarrollaron en Minitab16 y MATLAB. Con los datos descargados y transformados a partir de los algoritmos de Minitab 16, que contenían la posición (longitud y latitud) más los valores de la SST y Chl-a, se graficaron en el mapa del Golfo de California mediante un gráfico tipo 'classes post' para lo que se utilizó el programa Surfer 8.

### 5.2.3. Datos de CTD

Con los datos obtenidos *in situ* de los perfiles verticales del CTD, se hizo un análisis sobre las condiciones oceanográficas presentes durante este periodo. Se realizó un mapa en Surfer 8 con la posición de estos muestreos.

Los datos obtenidos directamente del CTD se guardaron en archivos en formato Minitab 16; debido a que la adquisición de datos es de cada centímetro, se desarrolló un algoritmo en el cual se ordenaron los datos para que solo quedara un valor medio por cada metro para todas las variables. A partir de estos datos se realizaron dos procedimientos de análisis, el primero, con la finalidad de determinar la distribución vertical de cada variable; segundo, para determinar a qué profundidad se presentaba el delta (valor de cambio) entre los datos de la oxícula, termoclina y se detectó el pico (o picos) de fluorescencia máxima.

Se utilizaron los datos de temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ ), fluorescencia ( $\text{mg m}^{-3}$ ) y oxígeno ( $\text{ml L}^{-1}$ ), que se encontraron a la profundidad de entre 5-6 metros, ya que es la temperatura cercana a la superficie; mientras que entre los 20-21 metros de profundidad se estimó que se hallaba la media de los datos donde se encontraba la termoclina para las estaciones y los datos de 50-51 metros, por ser una profundidad donde usualmente no existe termoclina. con Surfer 8 se realizó una interpolación de los datos y se utilizó el método geo estadístico Kriging, estos datos fueron delimitados (blanqueados) considerando únicamente el área de estudio y se elaboró un mapa de contornos para cada una de las variables y para cada estrato de profundidad, generando un total de 9 mapas.

De los 34 puntos de muestreo con CTD, se obtuvo en cada uno de ellos el valor promedio de temperatura, concentración de oxígeno disuelto y fluorescencia por cada metro. Con los datos

## **Distribución y abundancia del calamar gigante (*Dosidicus gigas*) en el Golfo de California utilizando hidroacústica de multifrecuencias durante junio de 2013**

por metro se buscó la máxima diferencia mediante la resta del valor superior con respecto al inferior a así determinar el estrato donde se detectó la máxima diferencia de estos cambios.

Donde se localizó el mayor valor de diferencia es donde se encontró el cambio para cada una de las variables; la diferencia para ese muestreo se entiende como el cambio de la variable (por ejemplo la termoclina) y la intensidad del cambio. Esto se realizó con una serie de algoritmos desarrollados en Minitab 16. Con estos se obtuvo la profundidad y el valor de la resta, también se realizaron mapas de contornos con el método anteriormente descrito en SURFER8 uno para profundidad y otro para el valor de la resta de cada variable. Se generó un total de 6 mapas.

### **5.2.4. Mapas de avistamientos de calamar y cámara submarina**

Se graficaron en el mapa de Surfer8 el recorrido del barco y, mediante un post las estaciones donde se observaron calamares en la superficie.

Se revisaron los videos grabados del ROV para corroborar los puntos positivos de muestreo; con la posición inicial del evento se localizó la posición de todos los muestreos en un mapa del Golfo de California utilizando el software Surfer 8 y en otro mapa se colocaron los puntos donde se registraron calamares en los videos.

### **5.2.5. Datos de pesca**

A partir de los datos recolectados durante la pesca nocturna en el barco, se obtuvo la información necesaria para conocer las condiciones biológicas (talla, peso, sexo y estadio de madurez sexual) de *Dosidicus gigas*.

### **5.2.5.1. Mapa de pesca**

Con los datos de posición inicial de evento se graficaron en el mapa todas las estaciones donde se realizaron los muestreos con poteras, de estos puntos se seleccionó solo aquellos en donde se pescó al menos un calamar.

### **5.2.5.2. Análisis de longitud del manto y estado de madurez sexual**

Con los datos de longitud de manto de calamar obtenidos durante esta campaña, y los de otros cruceros oceanográficos realizados por el Laboratorio de Ecología de pesquerías del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, además de una búsqueda bibliográfica se elaboró una tabla en Surfer 8 con los datos históricos. A partir de esta, se realizó un gráfico de Hi-low-close (es un tipo de gráfica comúnmente utilizada en finanzas, denominada “de barras”, formada de una barra vertical para cada jornada, a la cual se le dibujan líneas horizontales “barras”, a saber: en la parte superior el máximo (HIGH), en la inferior el mínimo (LOW), y una pequeña barra horizontal indicando el nivel del cierre (CLOSE). Esta gráfica se denomina HLC (high-low- close), a la que también se le puede añadir el valor de apertura en la parte izquierda (OHLC, open-high-low-close), de manera análoga a los valores de cierre)(<http://www.imecaf.com/blog/2012/11/06/que-es-el-analisis-tecnico/>) sobre la LDM histórica con el programa Grapher versión 10.

Posteriormente con Minitab 16 se realizó un histograma con todas las LDM obtenidas de los datos de pesca colectados durante junio de 2013. Se tomó la base de datos de LDM para este periodo y se separaron los datos correspondientes a hembras y machos, se obtuvo la proporción sexual a partir del número de organismos hembras y el número de machos.

Con la LDM se realizó un histograma de contornos y grupos para observar la distribución de tallas por población. Para probar si existen diferencias en las abundancias entre machos y

## Distribución y abundancia del calamar gigante (*Dosidicus gigas*) en el Golfo de California utilizando hidroacústica de multifrecuencias durante junio de 2013

hembras se realizó la prueba no paramétrica de Mann-Whitney para dos muestras independientes.

Se obtuvo el valor de los datos de desarrollo gonádico en porcentaje mediante Minitab16, con esta base de datos se realizó una gráfica de barras para machos. A esa gráfica se le agregó otra con los datos de las hembras con el programa Grapher 10.

Mediante el programa Minitab 16 se realizó una prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis para determinar si existen diferencias significativas entre las abundancias relativas (%) de cada estadio de desarrollo gonádico y la longitud del manto por sexo.

### 5.2.6. Análisis hidroacústico

Para el análisis de datos hidroacústicos se utilizó el programa Sonar 5 (Balk *et. al.*, 2014). El primer paso fue delimitar el fondo marino registrado en los ecogramas. Esto permite que se incluyan en el análisis solo los ecos registrados 5 m arriba del fondo. Para la visualización de los ecogramas el límite de detección menor de fuerza de blanco (TS, target strength, por sus siglas en Inglés) fue de -50 dB. El TS se define como:

$$TS = 10 \log_{10}(\acute{o}_{sp})$$

Donde  $\acute{o}_{sp}$  se define como:

$$\acute{o}_{sp} = 4\pi(I_r / I_i)$$

Donde  $I_r$  es la intensidad con la que refleja un objeto el sonido y  $I_i$  es la intensidad que incide.

### 5.2.6.1. Análisis hidroacústico de multifrecuencias (38 y 10 kHz)

Para la discriminación de los calamares de otros blancos acústicos se utilizó el análisis de la fuerza de blanco (TS) de las dos frecuencias utilizadas (análisis de multifrecuencias). Para cada uno de los ecogramas generados se comparó la fuerza de blanco de 120 y 38 kHz. Esto se hizo en celdas de 2 m de profundidad, en un intervalo de 10 a 200 m. El análisis se hizo ping por ping en el plano horizontal. El siguiente paso fue seleccionar el TS de ambas frecuencias con datos a la misma profundidad y el mismo ping. Para cada celda, el TS fueron restadas (TS 38 kHz - TS 120 kHz) como primer paso para la obtención de la denominada firma acústica del calamar. Las restas de TS fueron delimitadas con un TS > -36 dB para la frecuencia de 38 kHz. Este límite fue basado en la ecuación de TS-LDM propuesto por Benoit-Bird et al., (2008) y corresponde a límite de LDM de aproximadamente 20 cm. De esta forma, solo los organismos >20 cm de LDM fueron considerados en el análisis hidroacústico posterior.

Uno de los aspectos que deben de considerarse durante el análisis es el grado de agrupamiento de los ecos. El programa Sonar 5 calcula el índice de agrupamiento de Sawada (Sawada *et al.*, 1993). Este índice permite distinguir entre datos muy agrupados, como el zooplancton o cardúmenes de peces, de los no tan agrupados como son los calamares. Así también, Sonar 5 calcula los parámetros necesarios para el cálculo de abundancia. Éstos son la reflexión del sonido por volumen (Scattering Volume, Sv) y la reflexión del sonido por área (Scattering Area Sa)(MacLennan et al., 2002).

El Sv se define como:

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

**Distribución y abundancia del calamar gigante (*Dosidicus gigas*) en el Golfo de California utilizando hidroacústica de multifrecuencias durante junio de 2013**

Donde  $V$  es el volumen de agua sonificado. El cálculo de este parámetro es utilizado en su expresión logarítmica (dB) como:

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

El  $S_a$  se calculó para una hectárea y con 2 m de profundidad:

$$s_a = 4 \pi \times (100 \text{ m})^2 \times (10^{\frac{s_v \text{ promedio}}{10}}) \times (r_2 - r_1)$$

Donde  $r_2$  es el estrato más profundo y  $r_1$  es el estrato más somero dentro de la ecointegración (2 m).

**5.2.6.2. Distribución geográfica y abundancia de los ecos asociados a calamares**

La firma acústica del calamar fue calculada a partir de los datos de capturas y registros hidroacústicos realizados durante febrero y agosto 2014. Se aplicó la firma acústica para los datos de las restas de junio 2013. Con los datos delimitados por la firma acústica, se realizó un mapa en Sonar 8 con la finalidad de observar la distribución de los ecos asociados a calamar.

En Minitab 16 se realizó el cálculo de abundancia para los ecos asociados a calamar usando la siguiente ecuación:

$$\frac{I_n}{H_a} = \frac{S_a}{\sigma}$$

Donde el Sa utilizado fue el obtenido por Sonar 5 y el  $\phi$  del calamar fue definido como:

$$\phi = 4 \pi * 10^{(Ts/10)}$$

### 5.2.6.3. Cálculo y distribución de biomasa

Para calcular la biomasa, se utilizó la ecuación propuesta por Chong *et al.*, (2005) sobre la relación Peso-LDM. Ellos propusieron 2 ecuaciones, una para hembras y otra para machos; debido a la mayor proporción de abundancia encontrada entre hembras y machos se decidió utilizar la ecuación para las hembras, definida como:

$$\text{Peso} = 6.906^{-6} * (\text{LDM})^{3.379}$$

Donde la longitud dorsal del manto fue calculada a partir del TS:

$$LDM = \text{antilog} \left( \frac{Ts + 62}{20} \right)$$

El peso obtenido fue multiplicado por la abundancia, se seleccionaron los bloques de ecos más juntos para conocer la mediana de la abundancia por zonas dentro del área muestreada.

## 6. Resultados

Durante la prospección hidroacústica realizada en junio del 2013 se recorrió un total de 5,315.24 millas náuticas. Durante este periodo se realizaron un total de 97 estaciones de pesca de calamar con poteras de las cuales 34 fueron de día y el resto de noche.

### 6.1. SST y clorofila-a satelital

Para el análisis de la temperatura y clorofila-a se usaron dos semanas de datos satelitales. Entre estas dos semanas, el valor mínimo de temperatura fue de 20°C y el máximo de 30 °C. Se observó una diferencia significativa entre las temperaturas de las semanas 21 y 22 en la prueba de Kruskal-Wallis con una  $H=4469.67$   $DF= 3052$  se obtuvo un  $P < 0.001$ , en la (Figura 14) se observa que este cambio es más notable por zonas.

Aparentemente hay una distribución de temperaturas por zonas; por ejemplo de la boca del Golfo hasta la zona de las Grandes Islas la temperatura varió en algunos lugares hasta 4°C, a partir de la zona de las Grandes Islas hacia el norte del Golfo hubo algunas zonas donde la temperatura es muy similar a la semana 21. En la zona de las Grandes Islas, la temperatura vario muy poco cerca de un grado Celsius.

Las zonas con mayor concentración de Chl-a se encontraron a lo largo de la costa de Baja California, alrededor de las Grandes Islas y una pequeña zona ubicada en las cercanías de Guaymas. Para la semana 22, el patrón de distribución se repitió, a excepción de algunas zonas de la costa de Baja California, donde la productividad bajó más que en otras zonas (Figura 15). Para ambas semanas la boca del Golfo de California y la parte central son las zonas que presentaron los valores más bajos de clorofila-a.

Con respecto a la comparación entre las dos semanas, no se puede obtener una escala generalizada debido a que los cambios en la concentración de clorofila-a de una semana a otra son bastante drásticos, la diferencia es significativa, mediante la prueba de Kruskal-Wallis con una  $H= 4975.04$   $DF= 4258$  se obtuvo un  $P= 0.0001$ , en la semana 21 (Figura 15a) el rango de clorofila-a fue de 0.13 hasta 12  $mg\ m^{-3}$ , mientras que para la semana 22 el rango fue de 0.11 hasta 4.1  $mg\ m^{-3}$ (Figura 15b). Es decir, la semana uno tuvo zonas donde la productividad fue tres veces más alta.

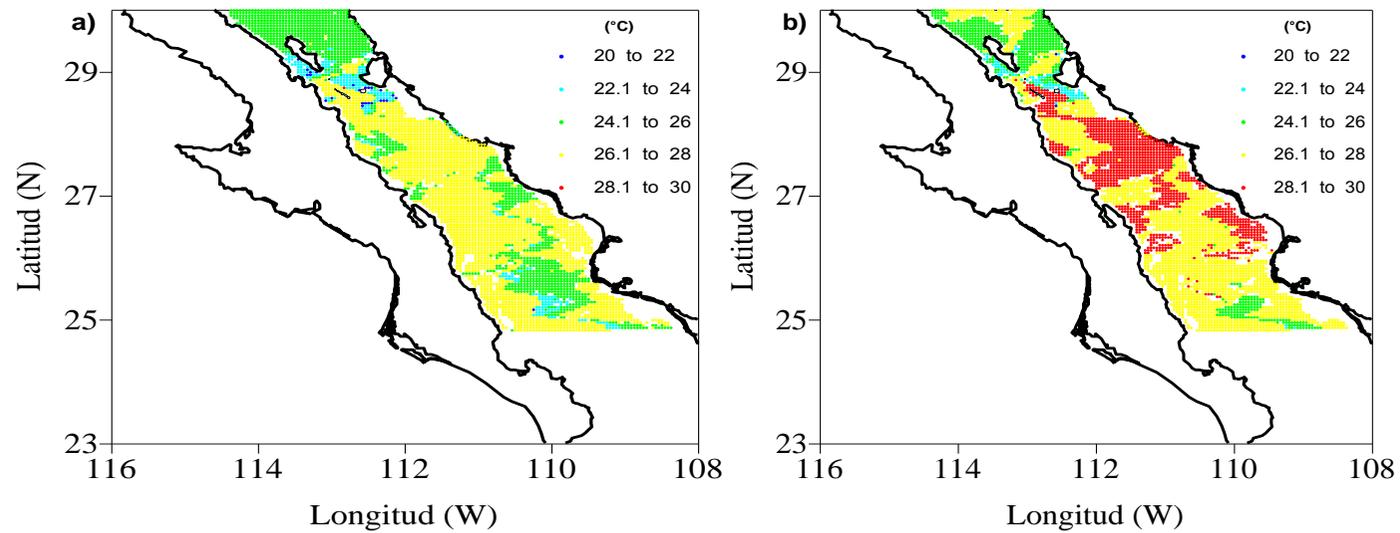


Figura 14. Datos semanales de SST obtenidos por Terra. a) Semana 21, del 10 al 17 de junio. b) Semana 22, del 18 al 25 de junio.

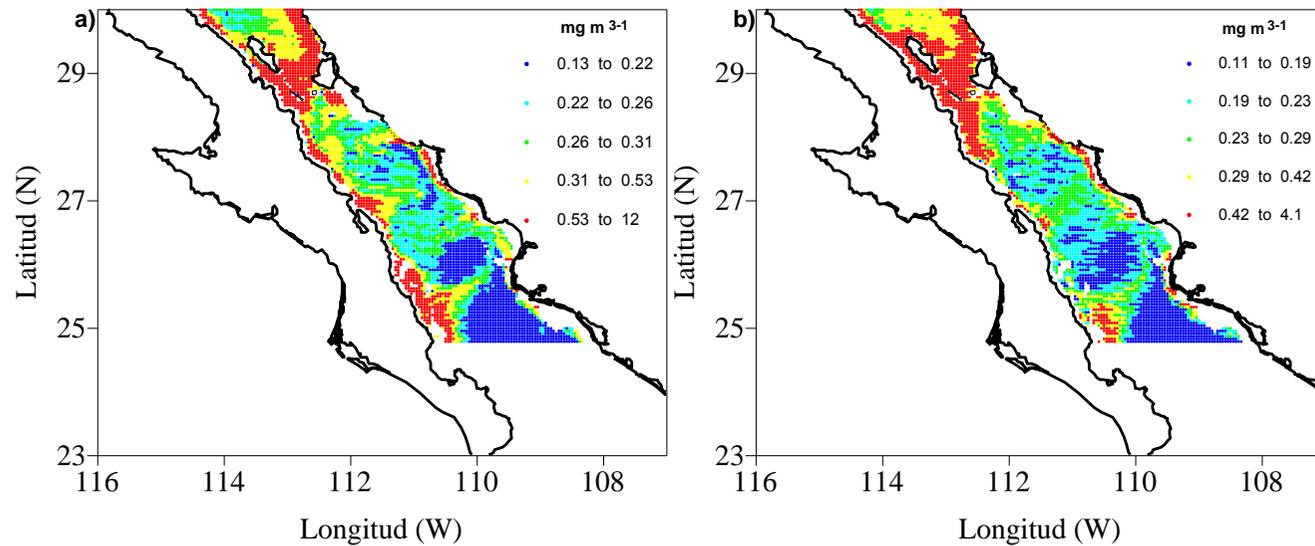


Figura 15. Datos semanales de clorofila-a obtenidos por Terra. a) Clorofila-a para la semana 21. b) Clorofila-a para la semana 22.

## **6.2. Temperatura, oxígeno y clorofila-a, a lo largo de la columna de agua, registrados por CTD**

A lo largo del derrotero se realizaron 34 muestreos con CTD (Figura16) y, a partir de la información recabada de estos muestreos, se analizó la temperatura, la fluorescencia o clorofila-a y la concentración de oxígeno disuelto.

La distribución de la temperatura en la superficie de la columna de agua, medida a 5 metros de profundidad, se encontró en un rango de 21- 28°C (Figura 17a). Las temperaturas más altas dentro de este rango se distribuyeron en la parte central del Golfo de California y por debajo de la zona de las Grandes Islas; las zonas con las temperaturas más bajas se distribuyeron en las Grandes Islas, continuando por la costa de Baja California, teniendo como límite la zona de Santa Rosalía. Otra zona se ubicó en la cuenca de Guaymas y una última zona cercana a la boca del Golfo.

La distribución de la temperatura a 20 m presentó un patrón diferente a la distribución superficial (Figura17b). Dos zonas con altas temperaturas (25-28°C): una en la costa de Sonora al sur de la isla Tiburón y la otra a la altura de Huatabampo, aunque se extiende hacia la costa de Baja California. En el resto del área de estudio se observó una temperatura baja entre 19-24°C.

A 50 m de profundidad, la temperatura presentó un patrón de distribución similar al de 20 m (Figura 17c), con las mismas dos zonas de temperaturas más altas (20-23 °C) con respecto al resto del área de estudio que presenta una temperatura de 15-19 °C. A diferencia con el patrón a 20 m fue que en la región de las Grandes Islas, al Norte, entre isla Ángel de la Guarda e isla Tiburón hubo una zona con una temperatura menor a un grado Celsius con respecto a esta región.

En cuanto a la distribución de la clorofila-a a 5 m de profundidad (Figura 18a), se puede apreciar que la zona más productiva (0.78 a 3.23 mg m<sup>3-1</sup>) se encuentra alrededor de la zona de las Grandes Islas continuando por la costa de Baja California hasta Santa Rosalía; la boca del Golfo también tuvo una zona con una alta productividad; el resto del área de estudio presenta valores

bajos de clorofila-a ( $0.2$  a  $< 1.27 \text{ mg m}^{-3}$ ). A 20 metros de profundidad se observa que la clorofila-a es más alta en toda la zona de estudio (Figura 18b). Con respecto a la existente a 5 metros de profundidad, se presentan dos picos de máxima clorofila-a de un rango de  $>2.74$  a  $4 \text{ mg m}^{-3}$ , uno al sur de isla San Lorenzo y otro cerca de Santa Rosalía; las zonas con niveles más bajos ( $0.2$ - $0.78 \text{ mg m}^{-3}$ ) coinciden con las zonas de mayor temperatura (Huatabampo y al sur de Isla Tiburón cerca de Kino).

La concentración de clorofila-a a 50 metros de profundidad (Figura 18c) fue considerablemente menor que en estratos superiores en toda la zona de estudio ( $0.2$  a  $<1.27 \text{ mg m}^{-3}$ ), pero las zonas de Huatabampo y el sur del Golfo se encuentran las zonas más productivas en este estrato.

La distribución de la concentración de oxígeno disuelto a 5 m de profundidad (Figura 19a) fue relativamente homogénea en toda el área de estudio ( $3.1$  a  $4.9 \text{ ml L}^{-1}$ ), aunque la costa de Baja California presenta concentraciones ligeramente más altas ( $4.5$  -  $4.9 \text{ ml L}^{-1}$ ), y una pequeña zona al sur de Isla Tiburón con el nivel más alto del rango ( $3.1$ - $3.17 \text{ ml L}^{-1}$ ); a 20 metros se pueden apreciar dos zonas con un valor más alto de oxígeno que en el resto del área de estudio (Figura 19b). En la zona alrededor de las coordenadas  $27.335 \text{ N}$  -  $111.0 \text{ W}$  la concentración fue de  $4.9$  a  $6 \text{ ml L}^{-1}$ ; la otra zona se ubica al sur de Isla San Esteban donde se registraron concentraciones entre  $4.9$  a  $5.2 \text{ ml L}^{-1}$ .

La concentración de oxígeno disuelto a 50 m de profundidad (Figura 19c) vario de  $2.5$  a  $<4.3 \text{ ml L}^{-1}$ . Se presentaron dos zonas cercanas a la costa de Sonora (Huatabampo y al sur de Isla Tiburón), con las concentraciones más altas ( $3$  a  $<4.3 \text{ ml L}^{-1}$ ), estas dos zonas presentan condiciones diferentes para las 3 variables estudiadas.

Distribución y abundancia del calamar gigante (*Dosidicus gigas*) en el Golfo de California utilizando hidroacústica de multifrecuencias durante junio de 2013

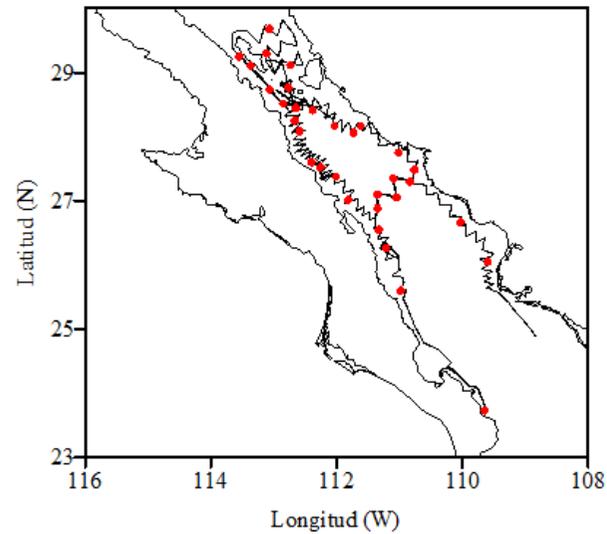


Figura 16. Derrotero del B/O El Puma (línea negra continua) con muestreos de CTD. En color rojo se encuentran los puntos de muestreo con recolección de datos de CTD (34 puntos).

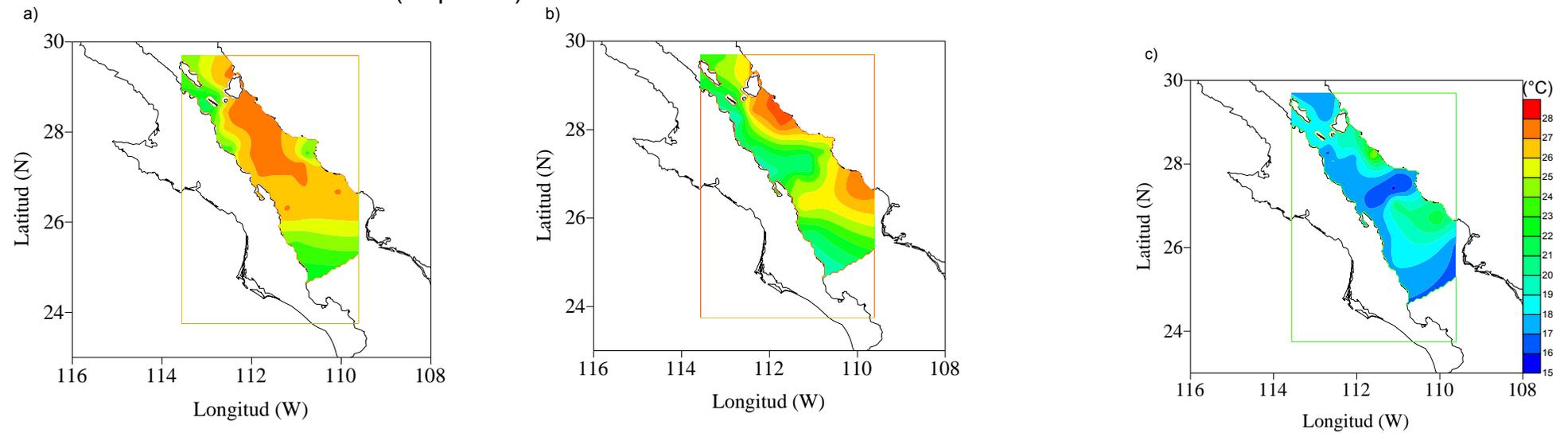


Figura 17. Temperatura *insitu* obtenida con el CTD en distintos estratos. a) Temperatura a 5 m, b) Temperatura a 20 m y c) Temperatura a 50 m.

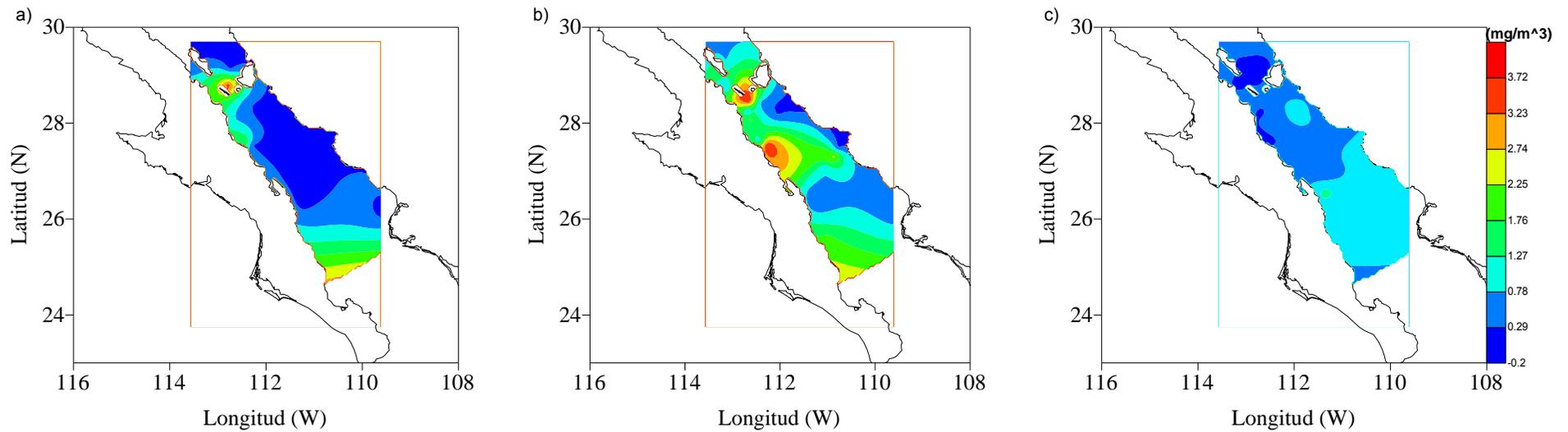


Figura 18. Fluorescencia *insitu* registrada con el CTD en distintos estratos. a) Fluorescencia a 5 m, b) Fluorescencia a 20 m y c) Fluorescencia a 50 m.

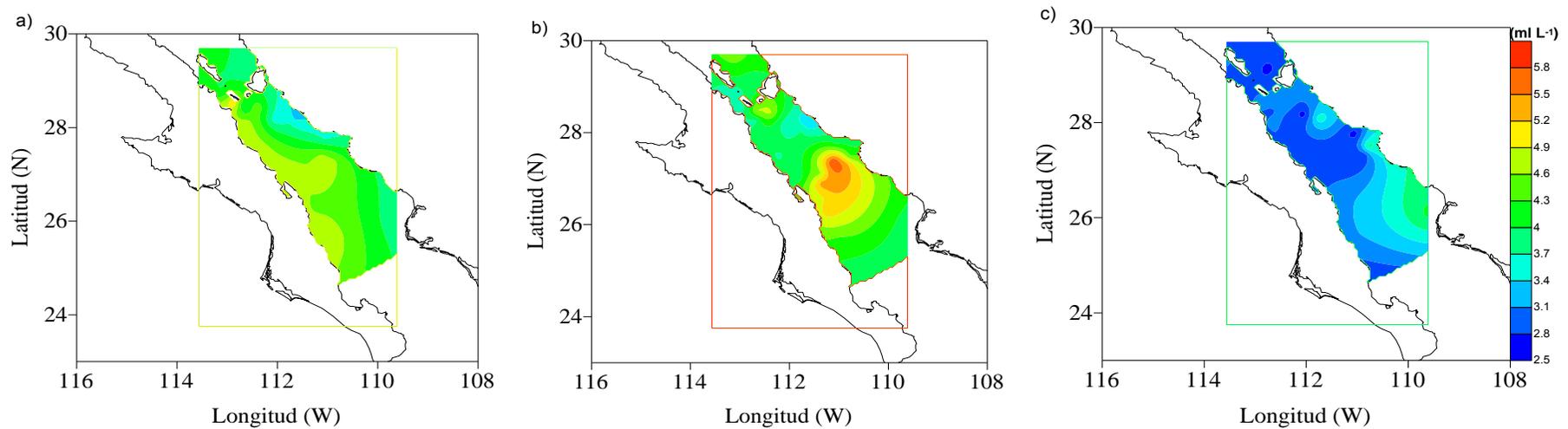


Figura 19. Concentración de oxígeno disuelto *insitu* registrada con el CTD en distintos estratos. a) Oxígeno a 5 m, b) Oxígeno a 20 m y c) Oxígeno a 50 m.

### **6.2.1. Obtención de la termoclina, oxíclina y máximo de clorofila-a.**

Los menores valores de diferencia en temperaturas en la termoclina ocurrieron en la mayor parte de la zona de las Grandes Islas y por la costa de Sonora (Figura 20 a); existió otra zona cercana a Santa Rosalía, en estas la diferencia máxima de temperatura fue entre -0.2 a -0.7 °C. Existieron dos zonas donde la diferencia máxima de temperatura obtuvo valores más altos (-1.2 a -1.7 °C) en la boca del Golfo de California y a lo largo de la costa oeste de Baja California; la otra se ubicó desde el canal de San Marcos hasta Mulegé.

Se realizó un mapa de la profundidad en la que se encuentra la termoclina (Figura 20b). Se ubicaron dos zonas en las costas de Sonora, en las cuales la termoclina se encontró a mayor profundidad (41 a 56 m). Del lado de la costa de Baja California, la profundidad de la termoclina fue menor (6. a 21 m).

El cambio máximo de la oxíclina (Figura 21a) ( $0.5$  a  $0.9 \text{ mgL}^{-1}$ ) se localizó en el centro de la zona de estudio, aunque un poco más cercanos a la costa de la península de Baja California. En la parte Norte y Sur se encontró un menor valor de cambio máximo; del lado de la costa de Sonora la profundidad en la que se encontró el cambio máximo fue profunda ( $>28$  a  $56 \text{ m}$ ) (Figura 21 b), mientras que del lado de la costa de Baja California, la oxíclina fue menos profunda ( $7$  a  $28 \text{ m}$ ). En la zona del Canal de Ballenas el cambio máximo obtuvo los valores más bajos de  $0$  a  $0.04 \text{ mL}^{-1}$  y la profundidad fue cercana o igual a cero, es decir, no se detectó ninguna oxíclina en la columna de agua.

Después de analizar las muestras de agua del CTD se obtuvo el valor de clorofila-medidas espectrofotométricamente de las muestras de agua de la botella Niskin. Estos valores se graficaron en un mapa (Figura 22 a) y en un mapa de la profundidad a la que se detectó el máximo de clorofila (Figura 22b).

Para ambos mapas se encuentra un patrón similar a las otras variables, los valores más altos obtenidos de máxima clorofila se encuentran en la costa de Baja California y las Grandes Islas (1.6 a 4 mg l<sup>-1</sup>). En la zona de Santa Rosalía se presentó el valor más alto del máximo de clorofila-a. La costa de Sonora presentó valores más bajos que en las zonas con los valores más altos, se detectó que la profundidad a la que se encuentra es menor.

Distribución y abundancia del calamar gigante (*Dosidicus gigas*) en el Golfo de California utilizando hidroacústica de multifrecuencias durante junio de 2013

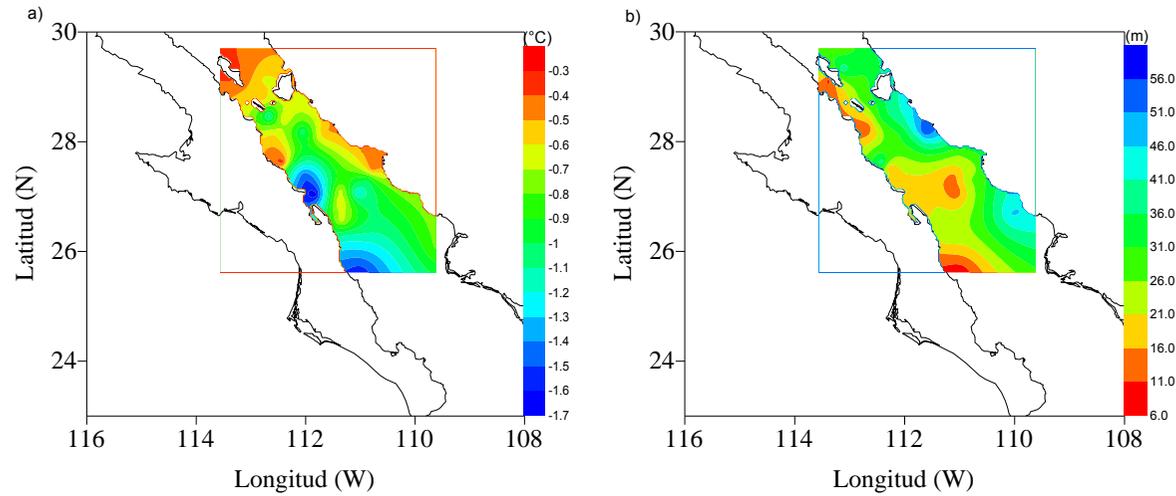


Figura 20. Mapa de los datos *insitu* de temperatura a) Valores máximos de diferencia encontrada a lo largo del muestreo de la columna de agua para determinar la termoclina b) Profundidad a la que los valores máximos de diferencia se encontraron.

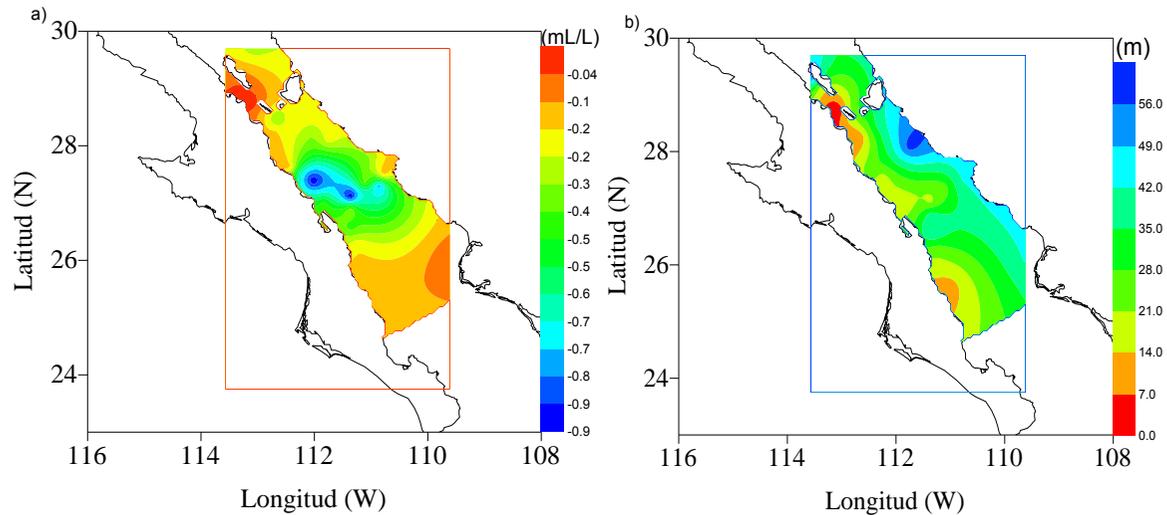


Figura 21. Mapa de los datos *insitu* de la concentración de oxígeno a) Valores máximos de diferencia encontrada a lo largo del muestreo de la columna de agua para determinar la oxiclina b) Profundidad a la que los valores máximos de diferencia se encontraron.

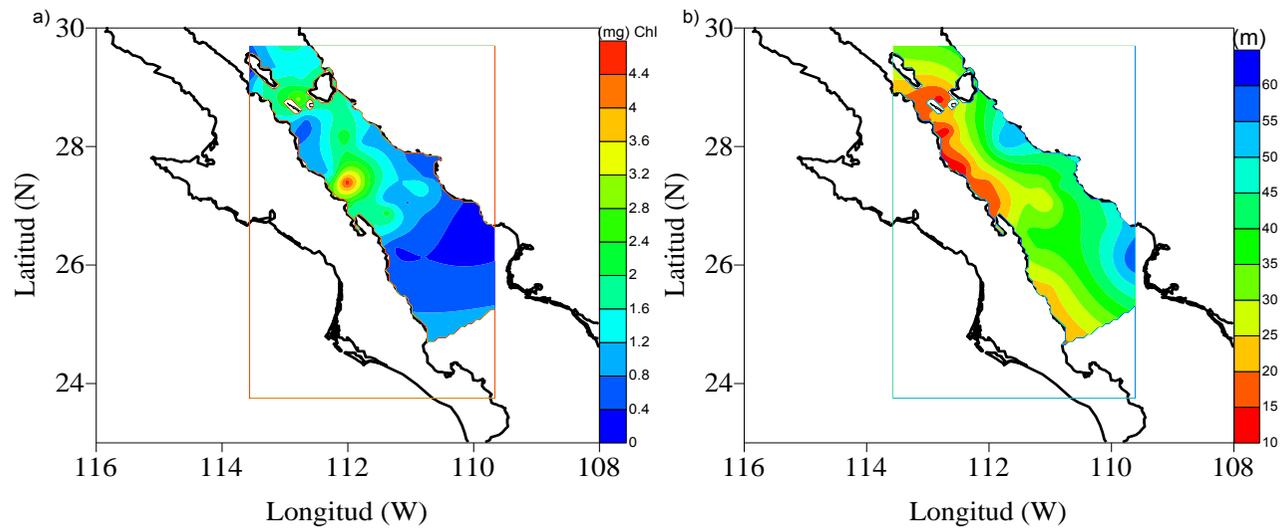


Figura 22. Concentración de la clorofila-a *insitu*. a) Pico de concentración máxima de clorofila-a calculada a partir de muestras de agua. b) Profundidad a la que se encontró el máximo de clorofila-a.

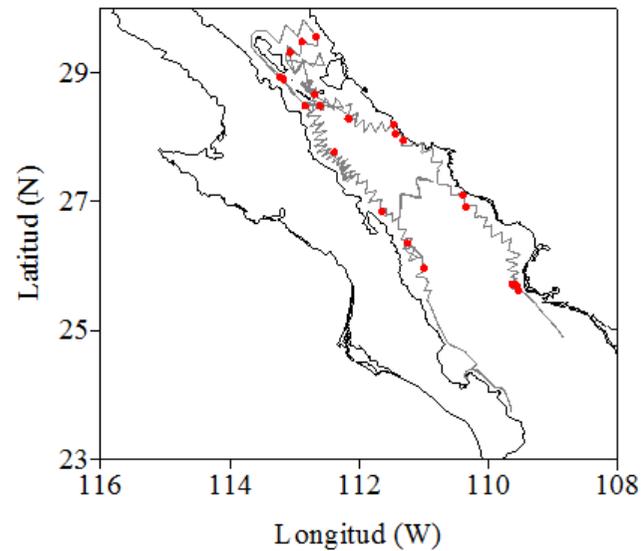


Figura 23. Avistamientos superficiales de calamar (círculos rojos). A lo largo del derrotero se obtuvo un total de 22 eventos de avistamientos

### 6.3. Registro de avistamientos, cámara submarina y poteras

Se hicieron 68 estaciones y en 22 se obtuvieron registros de avistamientos positivos (Figura 23). Estos registros mostraron un patrón heterogéneo con pequeñas agrupaciones. La zona con mayor número de avistamientos fue la de las Grandes Islas y zonas cercanas a Guaymas. Los grupos observados superficialmente fueron desde 2 hasta aproximadamente 23 organismos de 13 a 20 cm de longitud total).

Se obtuvo un total de 60 videos durante el crucero (Figura 24a), se obtuvieron únicamente 8 registros con eventos positivos para *Dosidicus gigas* (Figura 24b). La costa de Sonora y la zona de las Grandes Islas presentaron un mayor número de registros (5 registros) que la costa de Baja California (3 registros).

De los 68 puntos de muestreo (Figura 25a) en 21 estaciones se capturó calamar (Figura 25b). Concentrándose la mayoría de estos en la zona de las Grandes Islas y cerca de Santa Rosalía.

En general, comparando los avistamientos superficiales, la cámara y pesca con potera, solo en 3 estaciones fueron positivas para los tres tipos de muestreos; 11 estaciones fueron positivas al menos para dos de estos eventos y 18 estaciones fueron positivas para cualquiera de los tres tipos de muestreo.

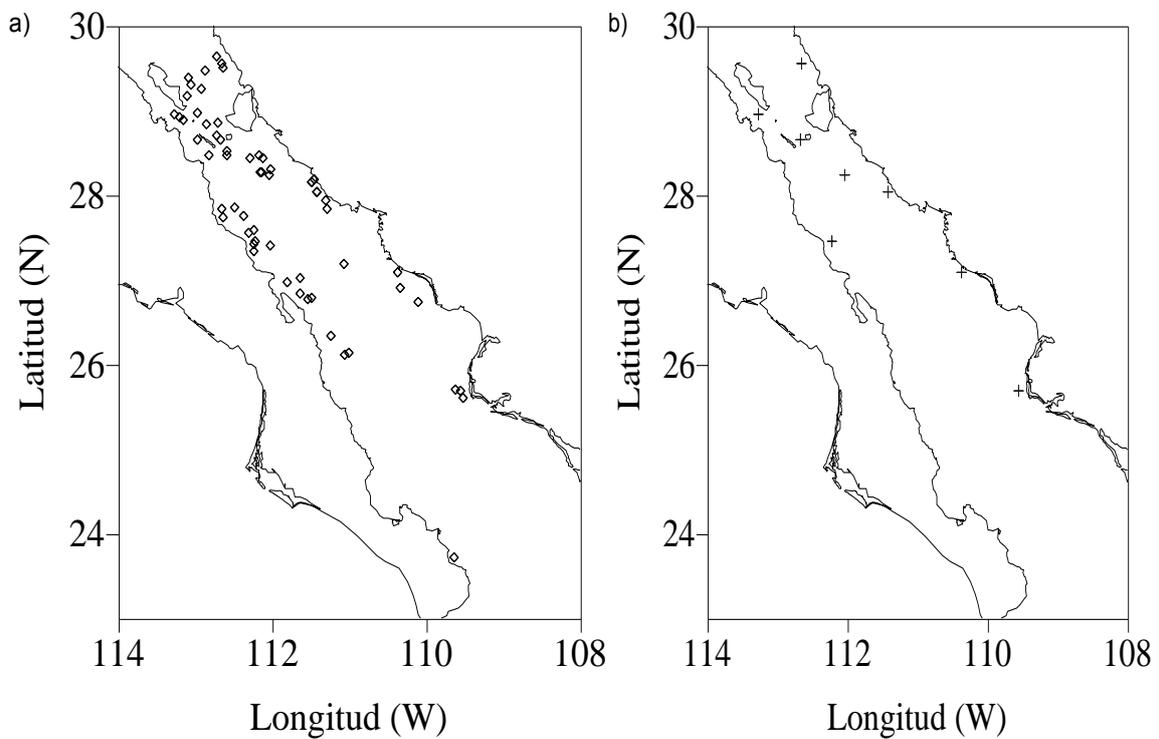


Figura 24. Mapa del área de estudio con los puntos donde se realizaron muestreos mediante cámara, a) los rombos muestran el total de éstos (60 puntos); b) las cruces ilustran los eventos de cámaras positivas (8).

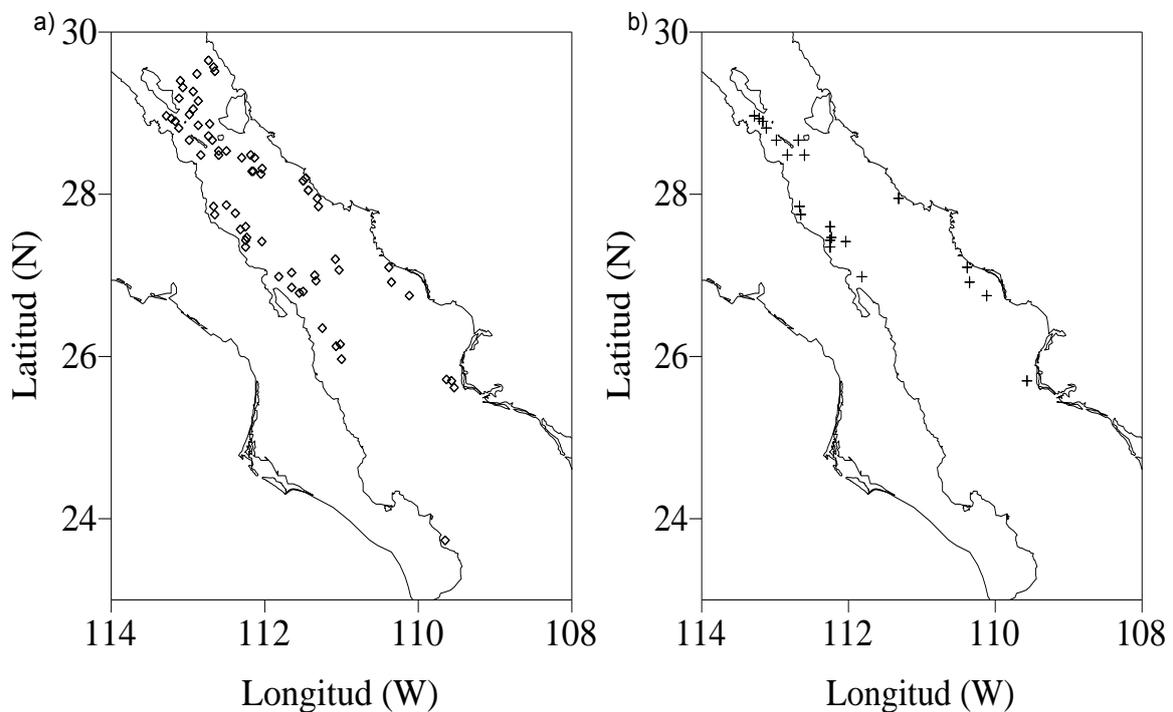


Figura 25. Área de estudio con los puntos donde se realizaron muestreos con poteras, a) los rombos ilustran el total de éstos (68 puntos); b) los puntos positivos de pesca se muestran con las cruces (21 puntos).

#### 6.4. Descripción de los calamares capturados por medio de poteras

En total se capturaron 228 calamares en 21 estaciones positivas. La media de la LDM fue de 36.2 cm, con rango de 20 a 45 cm con una distribución ligeramente sesgada a animales grandes y una moda en el intervalo de 37-38 cm.

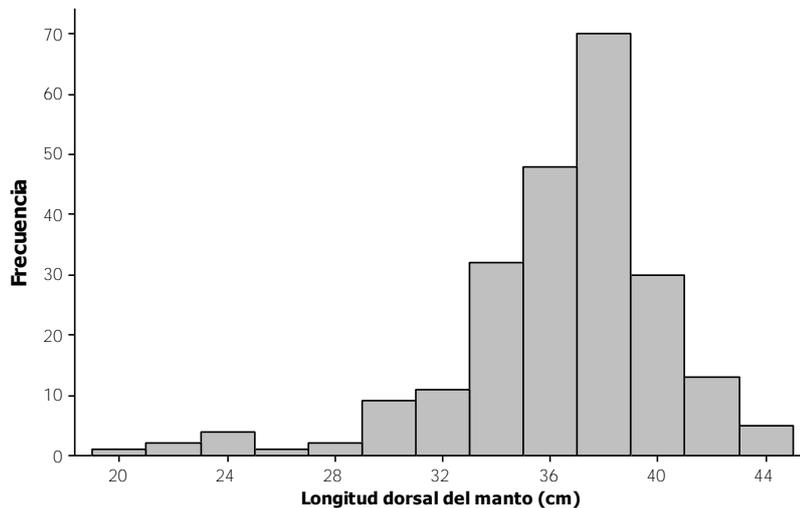


Figura 26. Histograma de frecuencias de la LDM de calamares (n= 228) capturados durante Junio 2013.

La proporción sexual fue de 3.4:1 hembras: machos (Tabla 1, Figura 27). Existió una diferencia entre el valor de la media de las tallas de las hembras y de las tallas de los machos, la hembras presentan un valor de LDM más grande que los machos (prueba de Mann-Whitney P = 0.0258).

Tabla 1. Número de individuos hembras y machos obtenidos, con su correspondiente mediana de LDM correspondiente.

Sexo	N	LDM Mediana
Hembras	171	37.0
Machos	50	36.4

Con los datos una vez separados entre hembras y machos, se agruparon los datos por estado de desarrollo gonádico para cada sexo (Figura 28). Mostraron que los machos presentaron un mayor porcentaje de organismos en estadio de madurez (estadio IV) (60%) seguidos del en estadio I de

espermatogénesis 22%, aunque también tuvieron una representación en los otros estadios (II y III), la cual fue más baja, sumando entre ellos un porcentaje de 18%.

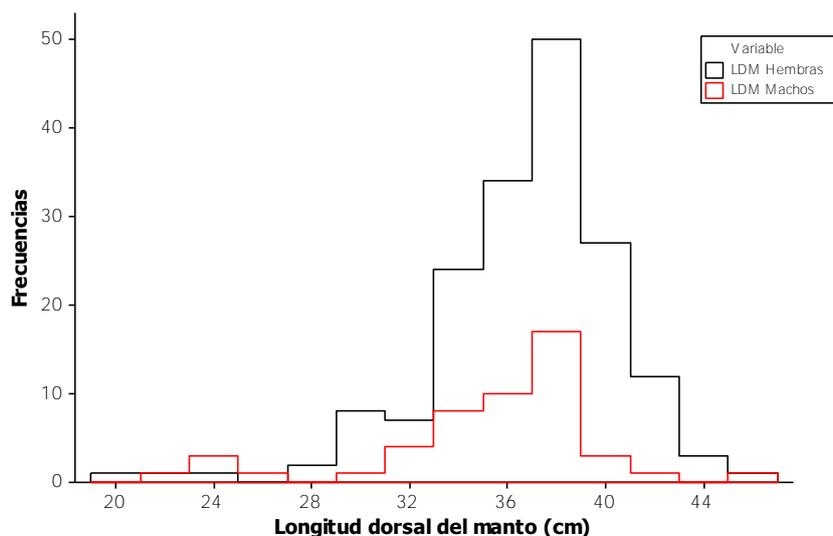


Figura 27. Histograma de LDM de los calamares (n= 228). Los datos fueron separados por hembras (negro) y machos (rojo).

Con respecto a las hembras, el 73% se encontraban en el estadio de desarrollo de oogenesis (estadio I), 25% en estadio de previtelogenesis (estadio II). La representación de los otros estadios de postvitelogenesis (III) y de madurez (IV) es casi nula ya que entre ambos sumaron en junio 2013 menos del 2%.

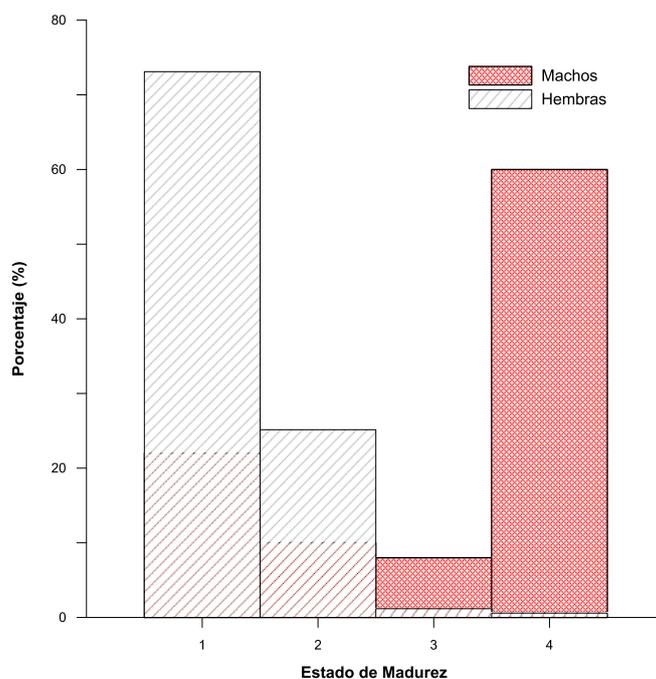


Figura 28. Estadios de madurez sexual para calamares pescados. Los datos fueron separados por hembras y machos según la clasificación de Lipinski y Underhill, 1995.

**Distribución y abundancia del calamar gigante (*Dosidicus gigas*) en el Golfo de California utilizando hidroacústica de multifrecuencias durante junio de 2013**

Para probar estadísticamente si existía diferencias significativas de la longitud dorsal del manto entre cada uno de los estadios por sexo se realizaron pruebas de Kruskal-Wallis para el caso de los machos (Tabla 2) y el de las hembras (Tabla 3).

En el caso de los machos se analizaron 50 organismos. La prueba de Kruskal-Wallis arrojó como resultados que  $H = 7.65$ ,  $DF = 3$ , y se obtuvo un valor  $P = 0.054$ , por lo que la diferencia de la LDM por estadio de desarrollo gonádico no fue estadísticamente significativa indicando un fuerte traslape de tallas.

**Tabla 2. Prueba de Kruskal-Wallis de LDM Machos vs. estado de desarrollo gonádico**

Estado de Madurez Machos	N	Mediana	Ave Rank	Z
1	11	34.3	18.7	-1.74
2	5	37.7	35.6	1.63
3	4	30.0	14.8	-1.54
4	30	37.0	27.7	1.33
Total	50		25.5	

En el caso de las hembras se analizaron 171 organismos ( $H = 2.67$   $DF = 3$   $P = 0.446$ ) la diferencia no fue estadísticamente significativa por lo que no se rechaza el hecho de que las LDM entre los estadios de desarrollo gonádico sean iguales.

**Tabla 3. Prueba de Kruskal-Wallis de LDM Hembras versus estado de desarrollo gonádico**

Estado de Madurez Hembras	N	Mediana	Ave Rank	Z
1	125	37	82.4	-1.56
2	43	37	96.3	1.58
3	2	36.6	79.8	-0.18
4	1	37.5	102.5	0.33
Total	171		86	

## 6.5. Datos Hidroacústicos

### 6.5.1. Identificación de la firma acústica del calamar gigante utilizando los datos del crucero de febrero de 2014

Durante febrero de 2014 se realizaron registros hidroacústicos con el barco anclado en Santa Rosalía y verificados con pesca, videos y observaciones de calamares en superficie. Esta localidad permitió realizar comparaciones de TS en ambas frecuencias. De las 23.00 h del día 19 a las 3.40 h del día 20 de febrero se registraron trazas continuas de calamares (los datos de pesca confirman que los ecos observados eran calamares (Figura 29)).

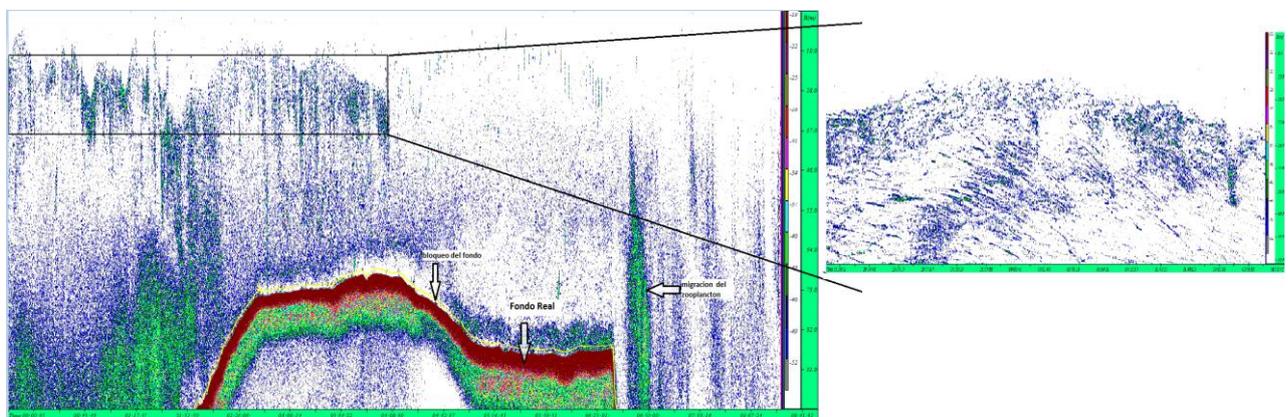


Figura 29. Ecograma generado con la ecosonda de 38 kHz el día 19 al 20 de febrero 2014. En él se aprecia la línea del fondo, la delimitación o bloqueo del fondo, trazas de zooplancton y en el recuadro negro se observan los ecos de calamares. De esta zona se generó un zoom para apreciar mejor las formas los ecos de los calamares en trazas.

El análisis visual del ecograma mostró que los calamares se distribuyeron entre los 20 y 38 m de profundidad entre 23:40 a las 03:40 h. El análisis de multifrecuencias para comparar TS's fue acotado de acuerdo con esta distribución de tallas. Los resultados de este análisis indican que el agrupamiento (índice de Sawada) de los calamares tuvo una mediana de 0.12 ( $q_1 = 0.008$ ,  $q_3 = 0.14$ ). Por lo cual el análisis de restas de TS fue limitado por el índice de Sawada, tomando como máximo el valor de  $q_3$  ( $< 0.14$ ), con esto se descartan los valores con un alto grado de agrupamiento, lo más probable es que estos ecos pertenezcan a otra especie, debido a que se conoce que los calamares son voraces caníbales y aunque se encuentran agregados no tienen un

**Distribución y abundancia del calamar gigante (*Dosidicus gigas*) en el Golfo de California utilizando hidroacústica de multifrecuencias durante junio de 2013**

comportamiento de tener pequeña distancia entre los individuos de una agregación.

Los resultados de las restas de TS para ambas frecuencias se presentan en la Tabla 4. La distribución de las restas se presenta en la Figura 30.

**Tabla 4. Información estadística sobre las restas de los ecos confirmadas como calamar.**

Variable	N	Media	SE media	Desviación estándar	Mínimo	Q1	Mediana	Q3	Máximo
Resta de TS	63	5.443	0.545	4.325	-4.330	2.230	5.810	8.310	12.710

El 50% de las restas de una muestra de ecos provenientes de calamares (con los límites del índice de Sawada y TS como aquí se presentan) se encuentra entre 2.23 (q1) y 8.31 (q3) dB. Para determinar los límites de esta distribución, se realizó un análisis de simulación teórico de los datos obtenidos. Los resultados indican que las restas elegidas al azar de la base de datos de las diferencias de los ecos de 38 y 120 kHz (número total de restas = 63, número de muestra = 31, número de simulaciones = 25100).

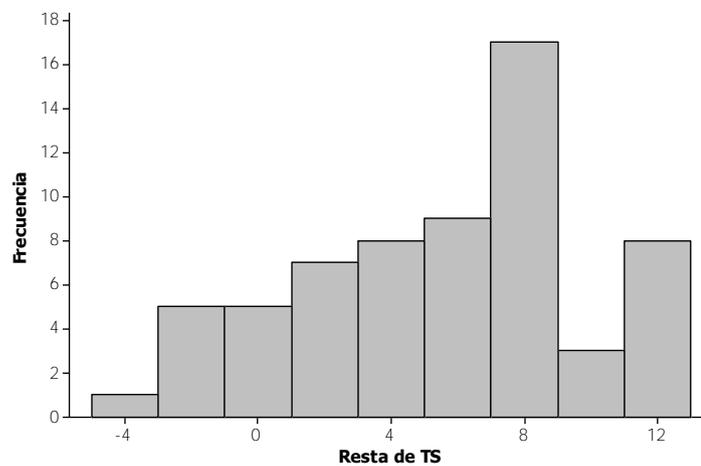


Figura 30. Firma acústica del calamar. Distribución de las restas (38 kHz – 120 kHz) de ecos asociados a calamar para febrero de 2014.

De acuerdo con estos resultados la firma acústica de *D. gigas* se caracteriza por un índice de Sawada < 0.14, y una distribución de restas de TS (38-120 kHz) entre 2.23 y 8.31dB, con un rango de distribución esperado de estas restas entre 22 y 74 %. Todo esto para calamares > 20 cm (>-36 dB de TS).

### 6.5.2. Corroboración de la firma acústica del calamar en los datos de agosto de 2014

La firma acústica del calamar gigante fue aplicada durante el anclaje del 18 y de 19 de agosto de 2014. Se usaron los datos hidroacústicos tomados de las 17.28 h del 18 de agosto a las 07.30 h del 19 de agosto. Los parámetros de obtención de datos acústicos fueron similares a los obtenidos en febrero, la única diferencia fue la repetición del pulso que en este caso fue de 10 pings por segundo (en febrero fue de 1 ping por segundo).

Se realizó el análisis de proporciones, seleccionando datos de cada 750 restas, se calculó la proporción de las que se encontraban en el rango de la firma acústica. El porcentaje de las restas que cayó en este rango se observa en la figura 31, en la que se aprecia una caída de la proporción de los ecos que concuerda con la disminución del número de organismos en la pesca.

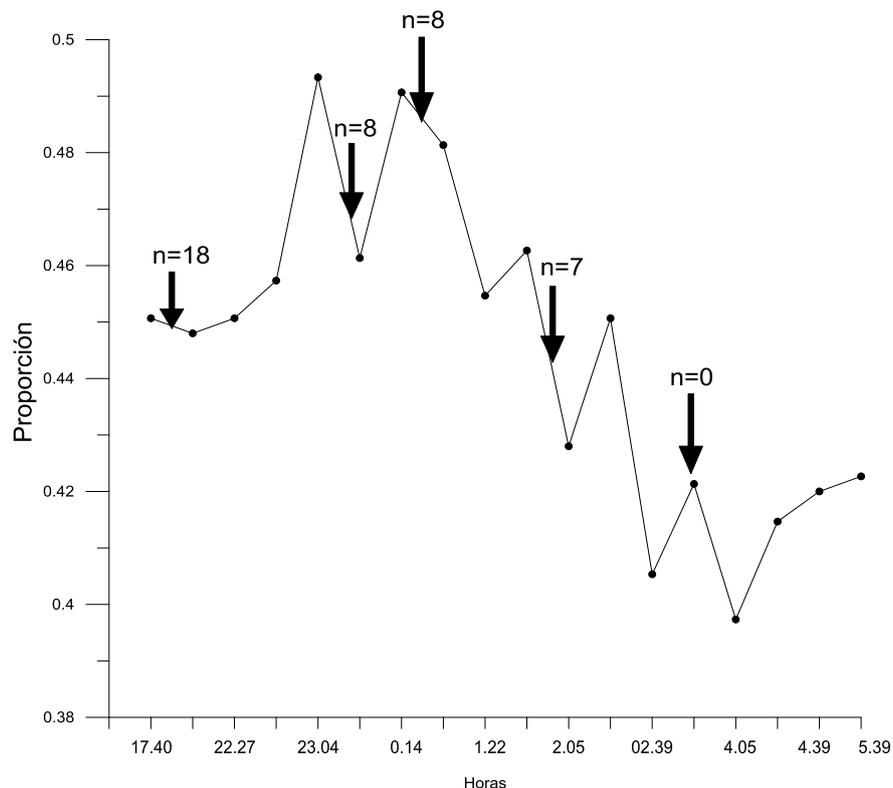


Figura 31. Proporción de restas de fuerza de blanco (38 kHz-120 kHz) que caen entre el intervalo de q1 a q3 de la firma acústica del calamar durante el anclaje de agosto de 2014. Las flechas negras indican eventos de pesca con potera y el número de calamares capturados.

### 6.5.3. Uso de la firma acústica para detectar calamares en el crucero de junio 2013

A partir de la base de datos obtenida de Sonar 5 y con las restas, en Minitab se delimitaron los datos usando los valores establecidos para la firma acústica y se realizó el análisis de proporciones. Para este crucero el número de restas para análisis de proporciones fue en bloques de 75, con datos continuos. Esto es,  $n_1 - n_2$ , y posteriormente  $n_1 + 1 - n_2 + 1$ , donde  $n_1 = 1$  y  $n_2 = 75$ . Posteriormente se seleccionaron solo proporciones  $> 0.41$  de acuerdo con los resultados presentados en la figura 31.

#### 6.5.3.1. Proporción de restas $> 0.41$ , velocidad del barco, hora y profundidad de los ecos

La mayoría de las proporciones de restas asociadas a calamares se encontraron con una velocidad del barco  $< 2 \text{ ms}^{-1}$  (Figura 32a). Una menor proporción se detectó cuando el barco está en movimiento  $> 2 \text{ ms}^{-1}$ .

Así también, la gran mayoría de ecos asociados a calamares se encontraron durante las horas de la noche de 20:00 – 03:00 h (Figura 32b). Estos ecos se asociaron a una profundidad máxima de 78 m siendo la mediana de la distribución 42 m (Figura 32c).

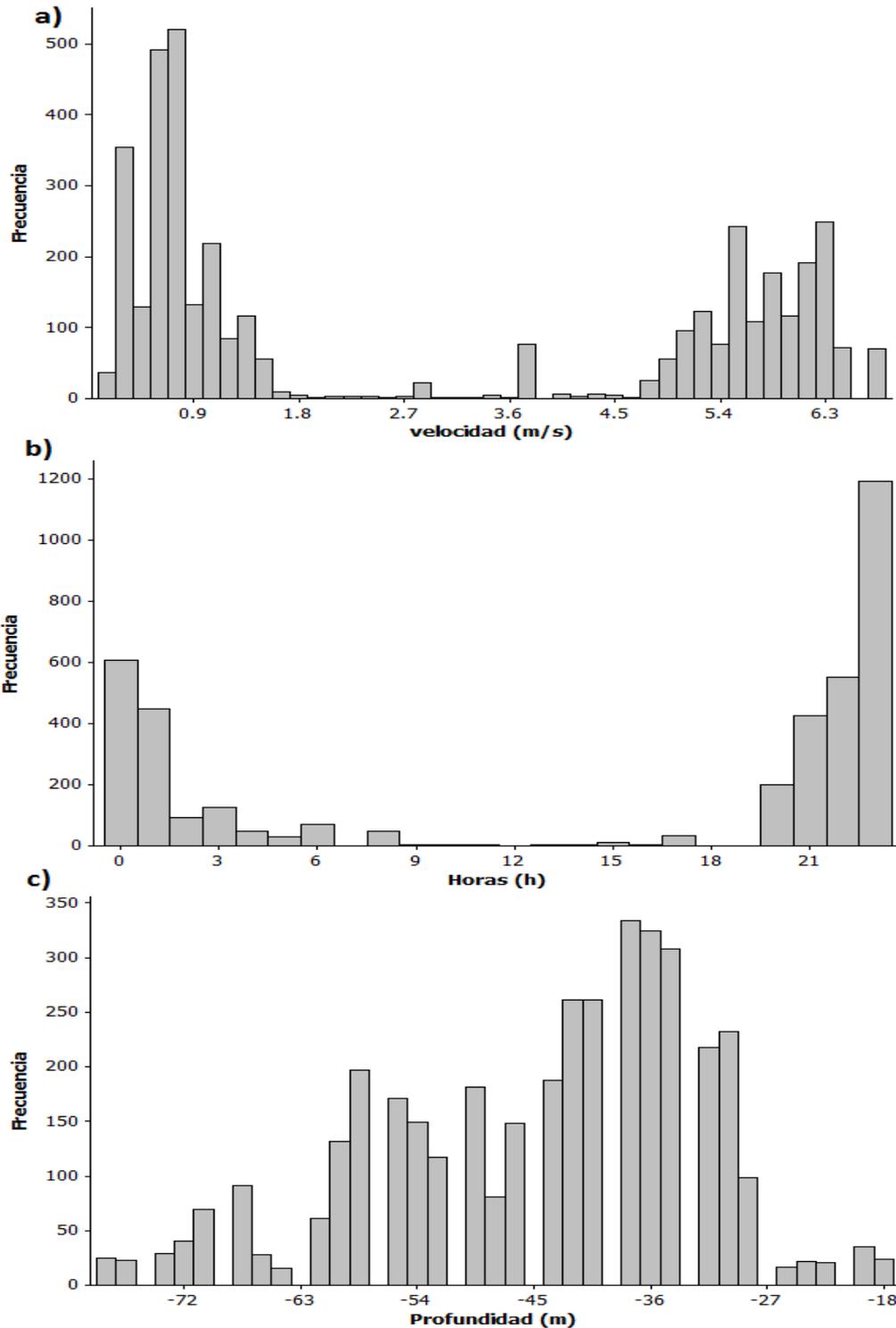


Figura 32. Proporción de ecos asociados a calamar *D.gigas*. a) Frecuencia de los datos según la velocidad del barco, se observan dos distribuciones. b) Frecuencia de los datos por horas (formato de 24 h). c) Profundidad a la que se distribuyen los datos.

#### 6.5.4. Distribución geográfica y abundancia de los ecos asociados a calamares

A partir de los datos ya delimitados con las proporciones se obtuvieron grupos de ecos asociados a calamar a lo largo del área de estudio, a partir de la distribución de estos se establecieron un

**Distribución y abundancia del calamar gigante (*Dosidicus gigas*) en el Golfo de California utilizando hidroacústica de multifrecuencias durante junio de 2013**

total de 15 zonas (Z) (Figura 33).

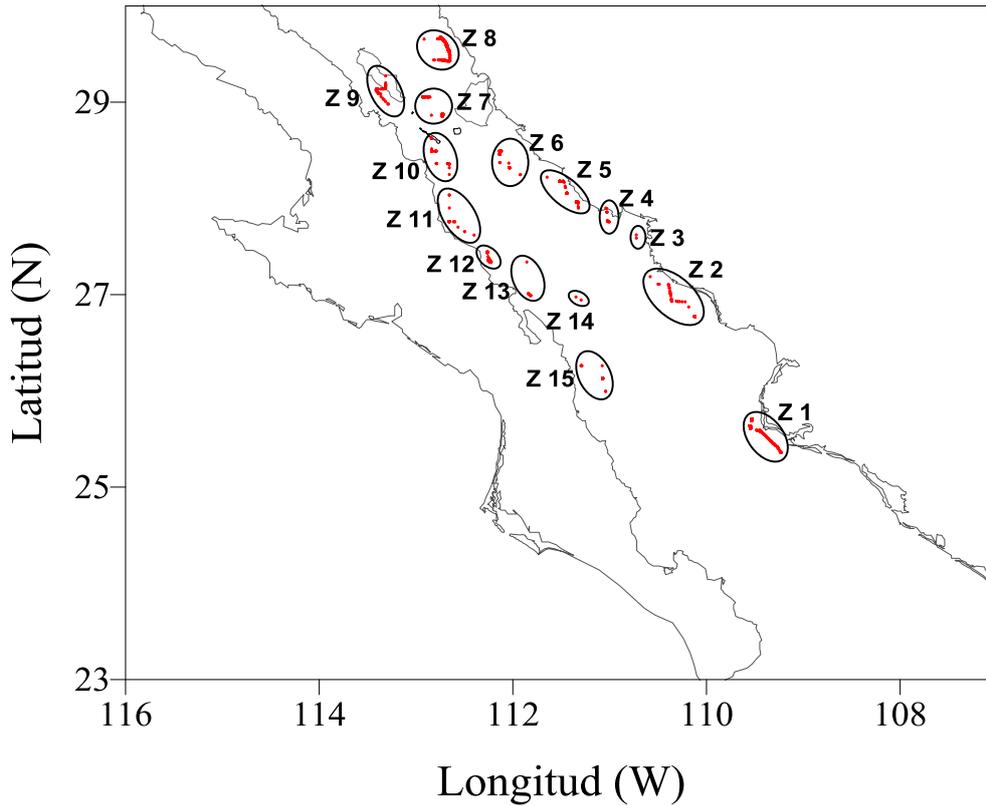


Figura 33. Distribución y Delimitación de las zonas con ecos asociados a calamar (Z). Se obtuvo un total de 15 zonas para toda el área de estudio.

La distribución de individuos por hectárea para los ecos asociados a calamar se muestra en la Figura 34 con una media de 90 Ind/ha.

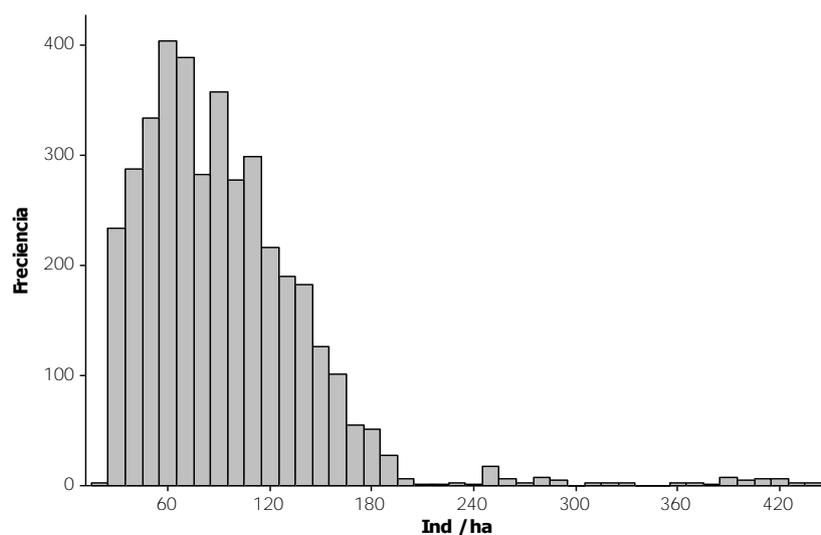


Figura 34. Estimación de abundancia para el área muestreada se tiene una mediana de 85.6 Indha<sup>-1</sup>.

**6.5.5. Cálculo y distribución de biomasa**

Se obtuvo la biomasa para cada una de las zonas, en la tabla 5 se presentan los valores estadísticos de la biomasa para cada una de ellas.

**Tabla 5. Descripción de la biomasa ( $\text{kg ha}^{-1}$ ) por a cada una de las zonas donde se detectaron *D. gigas*.**

Zona	Q1	Mediana	Q3
Z1	63.4	81.6	152.7
Z2	54.9	69.2	82.3
Z3	*	56.8	*
Z4	56.9	60.6	61.6
Z5	61	69.9	78.7
Z6	31.4	38.8	45.2
Z7	80.4	88.8	140.8
Z8	21.9	48.1	68.0
Z9	31.0	33.7	45.6
Z10	10.3	13.0	14.2
Z11	15.0	16.5	19.0
Z12	44.1	54.7	74.2
Z13	78.8	82.0	82.9
Z14	*	71.9	*
Z15	98.8	133.0	141.0

## 7. Discusión

Durante los últimos años las condiciones oceanográficas del Golfo de California se han caracterizado por una disminución promedio de la concentración de clorofila-a, atribuida a un marcado debilitamiento de la fuerza de los vientos de primavera, la presencia de un evento del El Niño Modoki en 2009-2010 y posiblemente a una tendencia al calentamiento de la superficie del mar en los últimos cuatro años (Hoving *et al.*, 2013; Robinson, *et al.*, 2013 Robinson *et al.*, sometido a revisión). Esta condición anómala que se presentó simultáneamente a finales de 2009 y principios de 2010 ha afectado a diferentes especies en el Golfo de California, afectación que

## **Distribución y abundancia del calamar gigante (*Dosidicus gigas*) en el Golfo de California utilizando hidroacústica de multifrecuencias durante junio de 2013**

se ha visto reflejada, por ejemplo en las capturas y la biología del calamar *Dosidicus gigas* y en las capturas de la sardina Monterrey (*Sardinops sagax*). Estas son dos especies comerciales que responden de manera negativa este fenómeno hidroclimático con una baja sus capturas reportadas (CONAPESCA, 2013; Robinson *et al.*, 2013). Así también, se han observado afectaciones en diferentes especies de aves marinas que habitan la región de Golfo de California, por ejemplo cambios en su composición de presas (Godínez-Reyes *et al.*, 2006; Carmona-Islas, *et al.*, 2013) Las bases de los trabajos para conocer las condiciones de *D.gigas* en el Golfo de California tales como los realizado por Gonzáles-Máynez *et al.*, (2013), Hoving *et al.* (2013) y Robinson *et al.* (2013), han sido el análisis de datos satelitales para definir las condiciones ambientales, pero pocos estudios han realizado un análisis *insitu* de las variables oceanográficas.

En la presente tesis, se analizaron variables oceanográficas *in situ*, relacionándolas con la distribución y abundancia de *Dosidicus gigas* registradas con capturas de poteras, observaciones en superficie y en videos submarinos así como mediante métodos hidroacústicos. Esta información es relevante para el manejo de su pesquería por que no basta con conocer el volumen de pesca de los desembarques que se reportan en la pesca comercial, sino también una estimación de la proporción que ha sido utilizada (supuestamente <40%) o que está disponible para los diferentes depredadores de calamar en el ecosistema pelágico.

### ***Distribución***

De acuerdo con Edhart *et al.* (1986), la distribución del calamar gigante de mayo a agosto en el Golfo de California debería de tener una segregación por tallas. Es decir, los organismos más grandes cerca de la costa y los de menor talla distribuidos en aguas oceánicas. En la presente tesis, los avistamientos superficiales, que incluyen tallas de 13 a 20 cm (Figura 23), no reflejan una separación evidente, en cambio, estos avistamientos se observan en toda la zona de estudio. Así mismo, para esta época del año (periodo de transición entre condiciones frías y cálidas), *Dosidicus gigas* debería localizarse en la costa de Santa Rosalía, BCS, según el patrón de migración estacional descrito previamente por Markaida *et al.* (2005) y Gilly *et al.* (2006).

A partir de los resultados de muestreos con cámara submarina y potera que se obtuvieron en el

presente trabajo (Figuras 23 y 24), se observó que el calamar gigante no se encontraba solamente en la costa de Santa Rosalía, también se obtuvieron muestreos positivos en la costa de Sonora. Esto se puede deber a que para las fechas donde se realizó el presente trabajo, el calamar gigante no había migrado en su totalidad de esta costa. La razón de esta falta de migración puede ser debida a la existencia de un grupo de organismos residentes en esta costa o un cambio en su distribución de acuerdo con las condiciones oceanográficas que se observaron.

Con los datos acústicos del presente trabajo se localizaron 15 zonas con agregaciones de calamar (Figura 33) en el área de estudio (en la costa de la Baja como en la costa de Sonora). Los muestreos realizados con poteras, cámara submarina y registros de avistamientos, comprobaron la presencia de una concentración del calamar gigante en la costa peninsular, cerca de Santa Rosalía.

En esta zona, el máximo de clorofila-a, la intensidad (gradiente) de la oxíclina y la termoclina tuvieron mayores valores de cambio que el resto del Golfo de California, además de ubicarse a menores profundidades en la columna del agua. Estas condiciones permanecieron similares para agosto 2014 por lo que se puede indicar como una zona de concentración de calamar semi-permanente (Carmona-Cedillo *et al.*, 2014).

Los cambios en temperatura y concentración de oxígeno aparentemente no fueron factores que limiten la distribución vertical de *Dosidicus gigas*. Esta especie puede “*ir de la superficie hasta 400 m en un día*” (Gilly *et al.*, 2006). Pero similar a la distribución de clorofila-a, las condiciones de temperatura y concentración de oxígeno podrían influenciar de forma directa o indirecta su distribución horizontal en el Golfo de California, ya que la mayoría de las presas del calamar gigante se ven restringidas por la ubicación de la ZMO, que si limita la distribución de los peces y de invertebrados (Lluch-Cota *et al.*, 2007).

En las zonas donde se distribuyó *Dosidicus gigas* en la costa de Sonora, el máximo de clorofila-a, la oxíclina y la termoclina presentaron una mayor profundidad, aun cuando en estas zonas la temperatura fue más elevada que en la costa peninsular. La ventaja que pueden estar representando estas zonas es que a mayores profundidades (> 50m) sigue habiendo una elevada

## **Distribución y abundancia del calamar gigante (*Dosidicus gigas*) en el Golfo de California utilizando hidroacústica de multifrecuencias durante junio de 2013**

concentración de oxígeno disuelto y un nivel más alto de fluorescencia, además de que mediante los datos de satélite se observó una mediana-alta concentración de clorofila-a y se mantuvieron relativamente igual en las dos semanas de estudio en Junio 2013(Figura 15).

Estas zonas pudieran estar funcionando como zonas de 'refugio' del calamar gigante debido a que la temperatura aparentemente no afectó su distribución a mesoescala en junio y se conoce que esta especie presenta una amplia tolerancia ante esta variable. Sin embargo, la productividad de las zonas parece ser que sí es un factor determinante para su distribución, así que las presas se verían afectadas, primero por cambios de temperatura y seguiría la respuesta del calamar con un desfase de tiempo, como mencionan Rivera Parra (2001) y Robinson *et al.*, (2013).

### **Biología (estructura de tallas y desarrollo gonádico)**

Ante las condiciones con baja concentración de clorofila superficial en el Golfo de California *D. gigas* tuvo cambios en su estructura de tallas, Un hecho evidente es la disminución de tallas en organismos sexualmente maduros (Figura 26 y 27). Esta disminución de la LDM puede ser una estrategia y parte de la flexibilidad de esta especie de adecuarse a los cambios, característica que poseen los cefalópodos (Rocha *et al.*, 2001, Hoving *et al.*, 2013).

Esta disminución en la talla promedio de la población se detectó después de realizar una búsqueda bibliográfica en múltiples artículos sobre *Dosidicus gigas* en el Golfo de California (Nevárez-Martínez *et al.*, 2006, Velázquez-Abunader *et al.*, 2010, Hoving *et al.*, 2013). De este meta-análisis se obtuvo la media, el rango (mínimo y máximo) de la distribución de tallas para muestreos desde 1995 hasta 2008, exceptuando 2006 y 2009 debido a que no se encontró información de la tallas para estos años. A partir del 2010 se utilizaron los datos obtenidos por el laboratorio de Ecología de Pesquerías mediante cruceros oceanográficos a bordo del B/O El Puma (Anexo 1). Con esto se elaboró una serie histórica de las tallas (Figura 35) donde se observó que a finales de 2010 la talla media varió significativamente con respecto a los otros años junto con esto el rango máximo reportado ha disminuido desde 2010 a 2014.

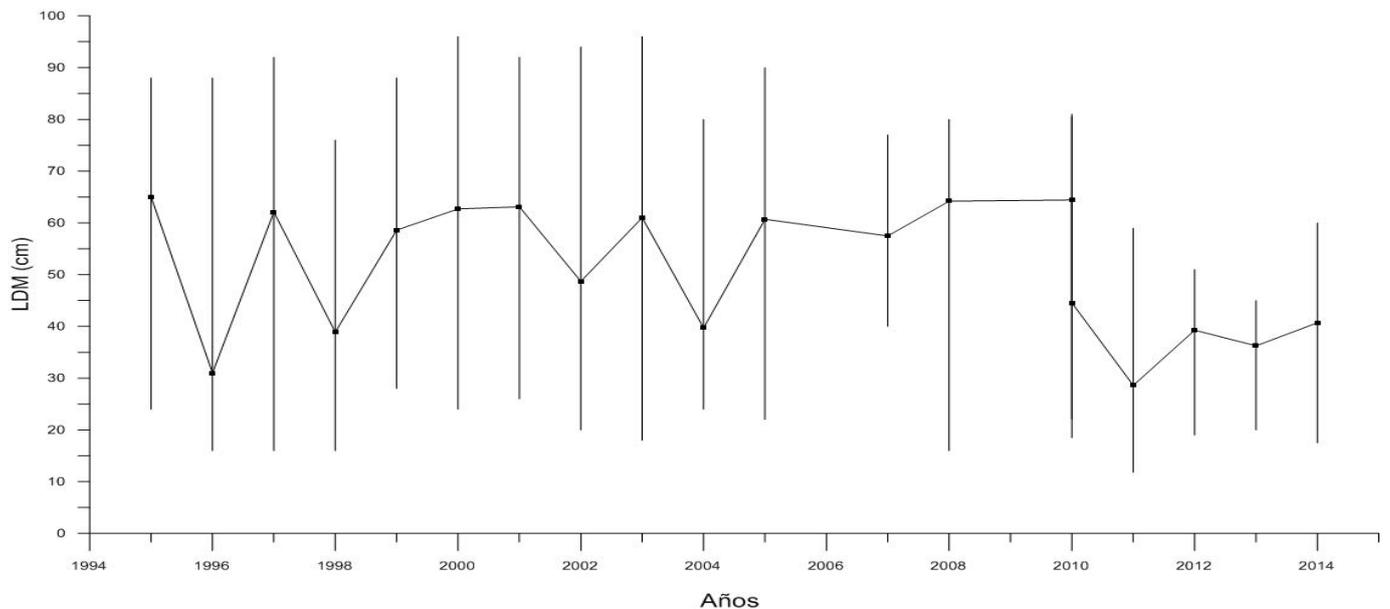


Figura 35. Registro histórico de longitud dorsal del manto (LDM) de *Dosidicus gigas*. La media (círculo relleno). Las barras representan la talla mínima y máxima reportada.

Los datos de Hoving *et al.*, (2013) muestran que durante el año de 2005, la pesquería no se encontraba colapsada para este año realizaron un muestreo en el mes de junio donde la LDM presento como talla máxima de 90 cm y una media de 60.7 cm. En junio 2013, fecha en donde se elaboró este estudio y la pesquería se reporta colapsada, la talla máxima de LDM que se obtuvo fue de 45 cm siendo uno de los valores más bajos en la serie histórica en el Golfo de California.

Los resultados del presente trabajo indican que existe una variación morfológica (enanismo) para este periodo no solo al presentarse tallas pequeñas, sino organismos que alcanzan la madurez sexual a LDM pequeñas (Figura 28). Para años donde la pesquería tiene elevados volúmenes de captura con poca variación interanual (comercialmente “estable” en los reportes de captura, el calamar gigante tiende a crecer a una LDM y a alcanzar el estadio de madurez a tallas mayores. Por ejemplo, en 1997 la talla de maduración (estadio IV) fue de 53-67 cm para macho y 75 cm para hembras, en 2003 fue de 57 para machos y 77 cm para hembras, para 2004 se estimó en 59 para machos y 69 cm para hembras (Markaida y Sosa-Nishizaki 2001, Bazzino *et al.*, 2007). En este trabajo se encontró que la talla media organismos capturados en estadio IV) de los machos fue de 37 cm y para las hembras de 37.5 cm (Tabla 2 y 3); significativamente más chicos que en años anteriores.

## Distribución y abundancia del calamar gigante (*Dosidicus gigas*) en el Golfo de California utilizando hidroacústica de multifrecuencias durante junio de 2013

Rivera-Parra (2001) reportó una respuesta similar de *Dosidicus gigas* a la encontradas en este trabajo en calamares capturados en 1998 cuando prevalecieron condiciones ambientales adversas (temperatura mayor a 2 grados del promedio hasta 2000) causadas por un fenómeno de El Niño Canónico, se reportó organismos de 24 cm de LDM, sexualmente maduros y con baja abundancia poblacional, la cual se estimó de cerca de 3,000 t en noviembre de 1998 en el estudio de Rivera Parra (2001). Estas condiciones fueron semejantes a las en junio 2013 prevaleciendo en general condiciones adversas para el calamar gigante pero mostrando flexibilidad suficiente para poder recuperar elevadas densidades y tallas mayores cuando prevalecen condiciones ambientales favorables (por ejemplo durante el periodo 2001-2005).

La proporción de sexo de *D. gigas* observadas en el presente estudio (3.4 hembras: 1 macho) coincide con proporciones de sexo similares a estudios previos (Markaida y Sosa-Nishizaki, 2001; Bazzino *et al.*, 2007). En nuestro estudio se observó que los machos maduran a un tamaño más pequeño que las hembras y con elevada proporción de individuos estadio de desarrollo gonádico en madurez IV (60%). Esta observación concuerda con lo reportado por Ehrhardt (1991), Markaida *et al.* (2004) Velázquez-Abunader *et al.*, (2010) quienes observaron en varias campañas oceanográficas que los machos maduraban a LDM más pequeñas que los machos, aunque reportaron que la diferencia entre las LDM de machos y hembras en estadio IV no era significativa.

La LDM promedio de hembras y machos encontrada en el presente estudio realizado en junio 2013 sí fue significativamente distinta. La diferencia entre LDM y proporción en la muestra de cada uno de los estadios de desarrollo gonádico de los machos (Tabla 3) no fue significativa y para el caso las hembras sí fue estadísticamente significativo (Tabla 2).

Velázquez-Abunader *et al.* (2010) y Díaz-Urbe *et al.*, (2006) sugirieron que la pequeña variabilidad en la talla de madurez gonádica (estadio IV) podría ser un indicativo de que la población de calamar gigante se encuentra en una condición poblacional “estable” después de una fase de crecimiento exponencial de la población. La observación de la presente tesis que demuestran diferencias significativas entre individuos en estadio IV, indica un nivel considerable de variabilidad sugiriendo el calamar gigante no se encontraba bajo condiciones favorables.

## ***Abundancia y biomasa***

La Comisión Nacional de Acuacultura y Pesca (CONAPESCA) reporta en el Plan de Manejo Pesquero de calamar gigante (*Dosidicus gigas*) (Martínez-Martínez, 2014) proponen la idea de que actualmente no existe una variación en la estructura de tallas ni abundancia del recurso, sino que solo existe una migración de calamar entre zonas de pesca. Así mismo indica que la disminución reflejada en las capturas de *D.gigas* se debe a una baja en la captura de esfuerzo pesquero y a una inadecuada técnica de pesca (poteras).

Por medio de hidroacústica, en el presente trabajo se observó una distribución de ecos asociados a calamar gigante en el área de estudio, exceptuando la zona centro del Golfo de California donde no se obtuvieron ecos asociados a *D.gigas* (Figura 33). La mediana de la abundancia para todos los ecos asociados a calamar fue de 85.6 individuos por hectárea (Ind/ ha).

De las 15 zonas asociadas a calamar (Figura 33), se esperaba que existiera una diferencia en el número de zonas encontradas en una costa u otra, debido a que según lo conocido de la migración del calamar gigante en el Golfo de California, en la época de junio el recurso debería concentrarse en más zonas cerca de la costa de Baja California (Markaida *et al.*, 2005; Gilly *et al.*, 2006), pero en el presente estudio no existió una diferencia notable en la cantidad de zonas encontradas con calamar presentes (siete en la costa de Sonora, siete en la costa de Baja California y una en medio del área de las Grandes Islas). Distribuirse en toda el área de estudio puede ser una respuesta poblacional ante las bajas concentraciones de clorofila-a que disminuya la competencia intraespecífica (Robinson *et al.*, 2013).

Se obtuvo una estimación de la biomasa para cada zona a lo largo del derrotero, Tomando en cuenta la media, el cuartil 1 (q1) y cuartil 3 (q3) (Tabla 5). De acuerdo con el cuartil 3, se pudo observar tres zonas con los valores más altos de biomasa (Z1, Z7 y Z15), en las que las temperaturas registradas por satélites indican que fueron zonas donde la temperatura vario poco entre las semanas 21 y 22, (<28° C) y la clorofila-a obtuvo los valores más altos para cada una de las semanas. Con los datos obtenidos del CTD se corroboró que estas tres zonas tuvieron el

## Distribución y abundancia del calamar gigante (*Dosidicus gigas*) en el Golfo de California utilizando hidroacústica de multifrecuencias durante junio de 2013

mismo intervalo de temperatura, concentración de oxígeno disuelto y fluorescencia. Estas áreas podrían ser zonas de refugio al contar con una relativamente mayor concentración de clorofila-a y con pequeña variabilidad en temperatura confiriendo posiblemente condiciones favorables para las presas del calamar gigante e incluso para *Dosidicus gigas*.

### **Variables oceanográficas**

Hoving *et al.*, (2013) reportaron un cambio en la intensidad de las anomalías de temperatura por zonas en el Golfo de California, durante 2010. Estos autores ubicaron a la zona costera de y la cuenca de Guaymas, como la zona con las anomalías más altas con respecto a las presentadas a lo largo de la costa de Baja California (Santa Rosalía y Canal de Salsipuedes). Con los muestreos *in situ* de la temperatura del presente trabajo, se observó una tendencia similar a la descrita por Hoving *et al.* (2013), ya que la temperatura de la costa de Sonora presentó los valores más altos en la zona de estudio, no solo en la temperatura superficial sino que este patrón se observó a lo largo de la columna de agua, manteniéndose principalmente en dos zonas de la costa de Sonora (Huatabampo y debajo de isla Tiburón) (Figura 17).

En la zona de Santa Rosalía, se observó que la capa de mezcla se encontró en los primeros metros o no existió; sin embargo los valores de clorofila-a fueron los más altos dentro del área de estudio (Figura 22). Carmona Cedillo *et al.* (2014) reportaron que en agosto de 2014, las condiciones en esta zona eran similares, no se encontró capa de mezcla en la zona de Santa Rosalía, los máximos de fluorescencia y concentración de oxígeno disuelto estuvieron por debajo de la termoclina diaria. Esto indicaría que es una de las zonas de producción de clorofila- a por encima de la piconclina y termoclina estacional.

En junio de 2013 la temperatura presento una media de 26.4 °C ( $\pm 1.4^{\circ}\text{C}$ ) que concuerda con lo publicado por CONAGUA (Albanil-Encarnación *et al.*, 2013), al señalar que durante 2013 la temperatura se ubicó 1.2 °C por arriba del promedio anual, lo que ubica al año de 2013 como el segundo año más cálido desde 1997 (Jiménez Quiroz *et al.*, 2013; Albanil-Encarnación *et al.*, 2013). Las condiciones anteriores a 2013 no fueron consideradas como favorables para la productividad de la clorofila-a ni para el desarrollo de varias especies, debido a que desde 2002

se pueden apreciar una tendencia gradual del incremento de la temperatura; aunque a partir de 2010 las anomalías en temperatura han sido positivas en al menos 1°C (Robinson *et al.* 2013; Hoving *et al.*, 2013; Albanil-Encarnación *et al.*, 2013).

A nivel mundial, los incrementos registrados en la temperatura media anual del océano están influenciando de diversas formas a muchos ecosistemas, una de esas formas es la productividad del ecosistema (FAO, 2013). La media histórica de la clorofila-a en el Golfo de California para los meses de junio calculada a partir de datos satelitales del sensor MODIS de 2001-2012 es de 0.70 mg l<sup>-1</sup> ( $\pm$  0.9). A partir de los datos de satélite en el Golfo de California se observaron valores con una media de 0.45 mg l<sup>-1</sup> para la semana 21 (10-17 junio) y para la semana 22 (18-25 junio) del 2013 con una media de 0.33 mg l<sup>-1</sup>. La media para ambas semanas se encuentra dentro de los límites inferiores del registro histórico (Figura 8), siendo uno de los años con una menor productividad, pero con algunas zonas de relativamente alta productividad, como es la zona de las Grandes Islas, cuyos altos niveles de productividad se observan hasta más de 20 metros en la columna de agua y la zona cercana de Santa Rosalía (Figura 18).

En el Golfo de California existe un claro patrón estacional de la clorofila-a, siendo alta durante el invierno-primavera (periodo frío Dic-May) y baja durante el verano (periodo cálido Jul-Oct) (Robinson *et al.*, 2013). Para inicios del 2013 estos valores fueron bajos comparados con años anteriores; Albanil-Encarnación *et al.*, (2013) reportaron que la actividad invernal de finales de 2012 y principios de 2013 fue menos intensa debido a que la temperatura fue más cálida en casi todo el territorio nacional.

Contrario a la temperatura, la clorofila-a mostró un decremento mensual de manera casi continua, solo interrumpido por periodos breves de anomalías positivas. A partir de mediados de 2009 las anomalías se mantuvieron negativas hasta el 2013 (Robinson *et al.*, 2013). Los niveles de concentración de clorofila-a de manera gruesa indican la disponibilidad de alimento para los organismos, entre ellos aquellas especies que conforman recursos pesqueros; por ejemplo, algunas especies de pelágicos menores planctófagos como la sardina monterey (*Sardinops sagax*) que se alimenta de diatomeas (Manrique., 2000). *Dosidicus gigas* depende de manera de la concentración de clorofila-a debido a que sus presas dependen de ella; por esa razón, al existir

## **Distribución y abundancia del calamar gigante (*Dosidicus gigas*) en el Golfo de California utilizando hidroacústica de multifrecuencias durante junio de 2013**

condiciones de baja concentración como las encontradas y por un periodo de tiempo sostenido 2009junio de 2013 se espera que afecte la distribución y abundancia de esta especie.

### ***La firma acústica del calamar gigante (*Dosidicus gigas*).***

El análisis de multifrecuencias indica que el valor de la media de las restas de las fuerzas de blanco (38 y 120 kHz) (Tabla 4) es muy cercano a lo esperado bajo condiciones controladas de 5.9 dB reportado por Benoit-Bird *et al.*, (2008). Estos autores calcularon la respuesta acústica de *Dosidicus gigas* a diferentes frecuencias (38, 70,120 y 200 kHz). Esta semejanza indica que el uso de estas dos frecuencias es útil para la detección del calamar gigante en el Golfo de California.

En el crucero realizado en agosto de 2014 al Golfo de California, donde se utilizó el mismo sistema de cámara submarina e hidroacústica, se observó que la proporción de ecos para ese periodo en la zona de Santa Rosalía probablemente no sea exclusivo de calamar, ya que se observó una gran cantidad de eufáusidos y de peces del orden de los clupeiformes, conocidos como “bonitos”. Pero existió una tendencia en el que se observó una relación directa entre la cantidad de trazas en el ecograma que asociamos a calamar con el número de calamares capturados (Figura32).

Con los datos delimitados por la firma acústica y la proporción de número de restas dentro del límite establecido (Sawada  $<0.14$ , restas de TS (38-120 kHz) entre 2.23 y 8.31dB, y una proporción de  $>0.41$  y  $<0.54$  ), las restas mostraron dos tendencias que describen la distribución de las restas de fuerzas de blanco de las dos frecuencias (Figura 32): 1) que la velocidad del buque tiene una relación directa con la efectividad de detectar calamares, esto es argumentado con la observación de que se detectó una mayor cantidad de restas dentro del rango denominado como posibles calamares a bajas velocidades que a velocidades altas (Figura 32a), y 2) puede haber una cantidad mayor de trazas debido al comportamiento y a la actividad biológica de *Dosidicus gigas*.

La primer tendencia se puede explicar considerando que el sonido en el agua para la detección de

organismos utiliza pulsos eléctricos cortos o pings, transmitidos a través del agua, hasta encontrar un organismo o blanco acústico que refleje la señal, el retardo entre la transmisión del pulso y la recepción del eco es una medida de la distancia del objeto (Mitison., 1983). Pero si la velocidad del barco es alta, la transmisión del pulso es más espaciada o la longitud del pulso es mayor y el retraso que ocurre de forma natural, se puede dar el caso que los ecos que se encuentren cercanos al borde del haz no sea recibida su respuesta debido a que el transductor ya no se encuentra cerca (Mitison., 1983). Por ello cuando el barco tiene una menor velocidad o se encuentra detenido hay una mayor cantidad de detecciones de calamar que cuando el barco está en movimiento.

La segunda tendencia observada en las otras dos distribuciones del producto de las restas de ecos asignados a calamar producidos por las dos frecuencias (hora y profundidad) tienen que ver con la actividad biológica de los calamares. Para junio del 2013 se detectó una mayor cantidad de restas de fuerza de blanco asociadas a calamares durante la noche que durante el día (Figura 32b). Esto se debe posiblemente a la actividad migratoria en la columna de agua para alimentación (Gilly *et al.*, 2006), demostrando que ellos suben al atardecer y al amanecer para actividades alimenticias. También se observó que la distribución de las restas asociadas a *Dosidicus gigas* fue a profundidades menores de 100 m a pesar de que el análisis se realizó hasta 200 m (Figura 32c). Esto puede deberse a que las dos variables están relacionadas al tener una mayor de ecos durante las horas de alimentación, la profundidad de los ecos será menor.

## 8. Conclusiones

- Durante junio de 2013 *Dosidicus gigas* presentó una disminución de las LDM en organismos sexualmente maduros, las tallas presentes en este trabajo (máximo 45 cm) fueron de las más pequeñas registradas históricamente.
- La proporción sexual fue mayor para las hembras 3.42:1.

**Distribución y abundancia del calamar gigante (*Dosidicus gigas*) en el Golfo de California utilizando hidroacústica de multifrecuencias durante junio de 2013**

- La proporción sexual obtenida más la diferencia entre la LDM de hembras y machos con un nivel considerable de variabilidad indican que el calamar gigante no se encontraba en condiciones estables durante el periodo de estudio.
- Desde finales de 2009 y hasta junio de 2013 se registraron condiciones oceanográficas adversas para el desarrollo de *D. gigas*, comparables con las de 1998, cuando se registró uno de los más fuertes eventos "El Niño"Modoki". La clorofila-a registró uno de los valores más bajos y las condiciones de temperatura superficial del mar se encontraron dentro de los valores más altos en la serie histórica de 1999-2013.
- La temperatura y la concentración de oxígeno disuelto siguieron patrones similares a los de la clorofila-a, pero no se encontró evidencia que estos factores oceanográficos delimiten sustancialmente la distribución del calamar gigante.
- La distribución de *D.gigas* encontrada en este trabajo no fue completamente concordante con lo descrito en trabajos anteriores para este mes. El calamar se distribuyó hidroacústicamente en 15 zonas a lo largo de ambas costas y en la zona de las Grandes Islas, en estas las condiciones de clorofila-a fueron de las más altas dentro de un ambiente empobrecido durante al menos 2010 a 2013. En la parte centro del área de estudio no se localizaron ecos asociados a agregaciones de calamar.
- La firma acústica para los calamares mayores de 20 cm ( $>-36$  dB de TS) fue de un índice de Sawada  $< 0.14$ , y una distribución de restas de fuerzas de blanco (38 y 120 kHz) entre 2.23 y 8.31dB, con un rango de distribución esperado de estas restas entre 22 y 74 %.

## 9. Referencias.

- Albanil-Encarnación, A., R. Pascual-Ramírez y L. Cruz-Rivas. 2013. Reporte del clima en México: Reporte Anual 2013. Reporte del SMN-CONAGUA. 3(6)1-23.
- Arkhipkin, A. I., 1989. Age and growth of squids of the family Ommastrephidae. Ph. D. thesis abstract. Shirshov Institute of Oceanography, Moscow, 25.
- Avilés-Díaz, L. (2013) 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. Tesis de licenciatura. Facultad de ciencias. Universidad Nacional Autónoma De México.
- Bazzino, G., Salinas-Zavala, C., Markaida, U., (2007) Variabilidad en la estructura poblacional del calamar gigante (*Dosidicus gigas*) en Santa Rosalía, región central del Golfo de California. Ciencias Marinas. 33 (2), 17-386.
- 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. J. Acoust. Soc. Am. 123(3), 1318-1328.
- Boyle Peter and Rodhouse Paul, (2005) Fisheries Oceanography. End Cephalopods: Ecology and Fisheries. Blackwell (296-312).
- Carmona Cedillo, C.M., Robinson Mendoza, C.J., Barrientos Palacios, M.A. (2014) Oceanografía en zonas de pesca de calamar gigante (*Dosidicus gigas*) en el Golfo de California. XXI Congreso Nacional De Ciencia y Tecnología Del Mar. Cozumel, Quintana Roo.
- Carmona-Islas, C., Bello-Pineda, J., Carmona, R., Velarde, E., (2013) Modelo espacial para la detección de sitios potenciales para la alimentación de aves playeras migratorias en el noroeste de México. Huitzil. Revista Mexicana de Ornitología. 14 (1), 22-42.

**Distribución y abundancia del calamar gigante (*Dosidicus gigas*) en el Golfo de California utilizando hidroacústica de multifrecuencias durante junio de 2013**

- Casas-Valdez, M., Ponce-Díaz G. (Eds.), (1996). Estudio del Potencial Pesquero y Acuícola de Baja California Sur, SEMARNAP, GOB. DEL ESTADO DE B.C.S., FAO, INP, UABCS, CIB, CICIMAR, CETMAR, La Paz.
- Chong, J., Oyarzún, C., Galleguillos, R., Tarifeño, E., Sepúlveda, R., Ibañez, C. (2005). Parámetros biológico-pesqueros de la jibia, *Dosidicus gigas* (Orbigny, 1835) (Cephalopoda: Ommastrephidae), frente a la costa de Chile central (29°S-40°S) durante 199-3994. *Gayana* 69(2), 319-328.
- Cifuentes Lemus J.L., Torres-García P. y Frías M.M., (1997) Pesquerías del Calamar y pulpo. En C. Farías María del Carmen (coord.) El océano y sus recursos X. Pesquerías. [Versión electrónica] México. FONDO DE CULTURA ECONÓMICA Recuperado el 21 de JULIO de 2013.
- d'Orbigny A., 1835. Mollusques. *Voyage dans l'Amérique Méridionale* 5 (3). 758 (1835-1847).
- De la Cruz-Gonzales F.J., Beltrán-Morales L.F., Salinas-Zavala C.A., Cisneros-Mata A.C., Aragón-Noriega E.A., Avilés-Polanco G. (2011) Análisis socioeconómico de la pesquería de calamar gigante en Guaymas, Sonora. *Economía, Sociedad y Territorio*, XI (37) 645-666.
- Díaz-Uribe JG, Hernández-Herrera A, Morales-Bojórquez E, Martínez-Aguilar S, Suárez-Higuera MC, Hernández-López A. 2006. Validación histológica de los estadios de madurez gonádica de las hembras de calamar gigante (*Dosidicus gigas*) en el Golfo de California, México. *Cienc. Mar.* 32(1A): 23-31.
- Ehrhardt, N.M., Solis, N.A., Jacquemin, P.S., Ortiz, C.J., Ulloa R.P., González, D.G., García, B.F. (1986) Análisis de la Biología y condiciones del stock del calamar gigante *Dosidicus gigas* en el Golfo de California, México, Durante 1980. *Ciencia Pesquera. Inst. Nal. Pesca. Sría Pesca. México.* 5, 63-76.
- Ehrhardt, N.M., Jacquemin, P.S., García, F., González, D.G., Lopez, M.J., Ortiz, J., Solis, A.N., (1983). On the fishery and biology of the giant squid *Dosidicus gigas* in the Gulf of California, Mexico. In: Caddy, J.F. (Ed.), *Advances in Assessment of World Cephalopod Resources.* pp. 306-339, FAO Fish. Tech. Paper 231.

- Ehrhardt, N.M.,(1991). Potential impact of a seasonal migratory jumbo squid (*Dosidicus gigas*) stock on a Gulf of California sardine (*Sardinops sagax caerulea*) population. Bulletin of Marine Science 49(1/2): 325-332.
- Ehrhardt, N.M., Solís, A., Jacquemin, P., Ortiz, J., Ulloa, P., Gonzáles, G., García, F., (1986).Análisis de la biología y condiciones del stock del calamar gigante *Dosidicus gigas* en el Golfo de California, México, Durante 1980. Ciencia Pesquera, México, 5: 63-76.
- FAO (2014) Examen mundial de la pesca y la acuicultura. En el estado mundial de la pesca y la acuicultura. FAO. Roma.6-67.
- FAO, (2013) La fauna silvestre en un clima cambiante. FAO. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación.
- Fernández Álamo M. (2007) Phylum Mollusca. En Fernández Álamo M. y Rivas G. (Eds.) Niveles de organización en animales.254.
- Filauri VN. 2005. Patrón de crecimiento y estructura poblacional del calamar gigante (*Dosidicus gigas*, Orbigny 1835) en la región central del Golfo de California. Tesis de maestría, Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, Universidad Nacional Autónoma de México, Mazatlán, México, 59.
- Gilly W. F., Markaida U., Baxter C. H., Block B. A., Boustany A., Zeidberg L., Reisenbichler K., Robison B., Bazzino.,(2006)Vertical and horizontal migrations by the jumbo squid *Dosidicus gigas* revealed by electronic tagging.Mar Ecol Prog Ser, 324, 1-17.
- Godínez Reyes,C., Santos del parado Gasca, K., Zepeda López, A.A., Anderson, D.w., Velarde, *et al.*, (2006) Monitoreo de poblaciones y condición de salud de aves marinas y lobos marinos en islas del norte del Golfo de California, México. Gaceta Ecológica. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, México. 81. 31-45.

**Distribución y abundancia del calamar gigante (*Dosidicus gigas*) en el Golfo de California utilizando hidroacústica de multifrecuencias durante junio de 2013**

- Gonzáles-Máynez, V.E., Nevárez-Martínez, M.O., Gallegos García, A., Márquez García, E., Rodríguez Sobreyra, R., (2013) Abundancia del calamar gigante *Dosidicus gigas* y su relación con factores ambientales en el Golfo de California, México. *Ciencia Pesquera*. 21 (1), 5-13.
- González, P. y Chong J. (2006) Biología reproductiva de *Dosidicus gigas* D'Orbigny 1835 (Cephalopoda, Ommastrephidae) en la zona norte-centro de Chile *Gayana* 70(2). 237-244.
- Hernández-Herrera A., Morales Bojórquez, E., Cisneros-Mata, M.A., Nevárez-Martínez, M., Rivera-Parra, G.I. (1998) Management strategy for the giant squid (*Dosidicus gigas*) fishery in the Gulf of California, Mexico. *California Cooperation. Oceanic Misericias Investigativos Reportes*. 39. 212-218.
- Hoving H.J., Gilly W.F., Markaida U., Benoit-Bird J.K., Brown Z.W., Daniel P., Field J.C., Parassenti L., Lui B. Y Campos B. (2013). Extreme plasticity in life-history strategy allows a migratory predator (jumbo squid) to cope with a changing climate. *Global Change Biology*. 19, 2089-2103.
- Jiménez Quiroz, M.C., Márquez García, E., Falcón Rodríguez, J.L., (2013) Condiciones prevalecientes en los mares mexicanos durante el primer semestre de 2013. INAPESCA. Obtenido de: <http://www.inapesca.gob.mx/portal/documentos/publicaciones/BOLETINES/hidroclimatico/boletin-primer-semester-2013.pdf>
- Keyl F., Wolff M., Argüelles J., Tegui L.M., Tafur R., Yamashiro C., (2008) Hypothesis On Range expansion and spatio-temporal shifts in size-at-maturity of jumbo squid (*Dosidicus gigas*) In the Eastern Pacific Ocean. *CalCOFI*. 49.
- Lipinski, M.R. & L.G. Underhill. 1995. Sexual maturation in squid: quantum or continuum? *S. Afr. J. Mar. Sci.*, (15) 207-223.
- Lluch-Cota, S.E., Lluch-Cota, D.B., Lluch-Belda, D., Nevárez-Martínez, M.O., Parés-Sierra, A., Hernández-Vázquez. S. (1999). Variability of sardine catch as related to enrichment, concentration, and retention processes in the central Gulf of California *Cooperative Oceanic Fisheries Investigations Reports*, 40, 184–190.

- Lluch-Cota, S.E., Aragón-Noriega, E.A., Arreguín Sánchez, F., Auriolles Gamboa, D., Bautista Romero, J.J., Brusca, R.C., Cervantes Durate, Rafael., Cortés-Altamirano, R., *et al.*, (2007) The Gulf of California: Review of ecosystem status and sustainability challenges. *Progress in Oceanography*. 73, 1–26.
- Luna-Raya M.C., Aragón Noriega, E.A., Salinas Zavala, C.A. (2009) Análisis del consumo del calamar gigante en el noreste de México. *Región y sociedad*. 11(46), 1870-3925.
- Markaida U., y Sosa-Nishizaki O., (2001) Food and feeding habits of jumbo squid *Dosidicus gigas* (Cephalopoda: Ommastrephidae) from the Gulf of California, Mexico. *J.Mar.Biol.Ass.Uk*. 83, 507-522.
- Markaida, U., Quinonez-Velazquez, C., Sosa-Nishizaki, O., (2004). Age, growth and maturation of jumbo squid *Dosidicus gigas* (Cephalopoda: Ommastrephidae) from the Gulf of California, Mexico. *Fish. Res.* 66, 31–47.
- Markaida, U., Rosenthal, J.J., Gilly, W.F., (2005). Tagging studies on the jumbo squid (*Dosidicus gigas*) in the Gulf of California, Mexico. *Fish. Bull.* 103, 219–226.
- Martínez Martínez Enrique (2014) Acuerdo por el que se da a conocer el Plan de Manejo Pesquero de Calamar Gigante (*Dosidicus gigas*). *Diario Oficial*. Ciudad de México, Distrito Federal. SAGARPA.
- Martínez-Aguilar S., Morales-Bojórquez E., Díaz-Uribe J.G., Suárez-Higuera M.C., Hernández-Herrera A., (2004) La Pesquería del Calamar Gigante (*Dosidicus gigas*) en el Golfo de California. Recomendaciones de Investigación y Tácticas de Regulación. Comisión Nacional de Acuicultura y Pesca, Instituto Nacional de la Pesca, Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. México. 77.
- Masuda Masuda, S., Yokawa, K., Yatsu, A., Kawahara, S., (1998) In: Okutani, T. (Ed.), Growth and Population Structure of *Dosidicus gigas* in the Southeastern Pacific. *Large Pelagic Squids*. 107–118.
- Misund, O. A. (1997). "Underwater acoustics in marine fisheries and fisheries research," *Rev. Fish Biol.* Fish. 7, 1–34. Ciudad Universitaria a 25 de marzo de 2014

**Distribución y abundancia del calamar gigante (*Dosidicus gigas*) en el Golfo de California utilizando hidroacústica de multifrecuencias durante junio de 2013**

- Morales-Bojórquez, E., Cisneros-Mata, M.A., Nevárez-Martínez, M.O., Hernández Herrera, A., 2001. Review of stock assessment and fishery biology of *Dosidicus gigas* in the Gulf of California, Mexico. Fish. Res. 54, 83–94.
- Nesis K.N.,(1971). Oceanic Cephalopods: Distribution, Life Forms, Evolution. Nauka, Moscow, 287 (in Russian).
- Nevárez-Martínez, M.O., Méndez-Tenorio, F.J., Cervantes-Valle, C., López-Martínez, J., Anguiano-Carrasco, M.L., 2006. Growth, mortality, recruitment, and yield of the jumbo squid (*Dosidicus gigas*) off Guaymas, Mexico. Fish. Res. 79, 38–47.
- Nigmatullin Ch.M., (1999) Fishery ecology of jumbo squid *Dosidicus gigas* in the EEZ of Nicaragua. In: A.E. Tresierra Aguilar, Z.G. CulquichiconMalpica (eds.), First International Symposium on Pacific Squids. VIII Congreso Latinoamericano sobre Ciencias del Mar, Trujillo, Peru, 17-21 de Octubre, 1999. Libro de Resúmenes Ampliados, tomo I. 283.
- Nigmatullin,Ch.M.; Nesis, K.N.; Arkhipkin, A.I., (2001). A review of the biology of the jumbo squid *Dosidicus gigas* (Cephalopoda: Ommastrephidae). Fish. Res. 54, 9-19.
- Parker, R. H. Zoogeography and ecology of some macro invertebrates particularly mollusks in the Gulf of California and the Continental slope of Mexico. Videnskabelige Meddelelser fra Dansk Naturhistori Forening. 126, 1-178.
- Rivera Parra, G. I., (2001). La pesquería del calamar gigante *Dosidicus gigas* (d' Orbigny, 1835) en el Golfo de California, México. Tesis doctoral. Universidad de Colima. Colima.
- Robinson Carlos J., Gomez-Gutierrez Jaime y Salas de León David Alberto. (2013) Jumbo squid (*Dosidicus gigas*) landings in the Gulf of California related to remotely sensed SST and the concentrations of Chlorophyll a (1998-2013). Fish.Res.137, 97-103.
- Robinson, C.J. Gómez Gutierrez, J., Salas de León, D.A. 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.

- Robinson, C.J. y Gómez Gutierrez, J. (1998), Daily vertical migration of dense deep scattering layers related to the shelf-break area along the northwest coast of Baja California, Mexico. Journal of Plankton Research 20(9),1679-1697.
- Robinson, C.J., Gómez Gutierrez, J. (sometido a revision) Multiyear (2011-2013) jumbo squid catch landings decline in the central Gulf of California associated with sustained anomalous low wind stress and low chlorophyll a concentrations during the time series 2000-2013. Fisheries Research.
- Rocha, F., Guerra, A. and Gonzales, A.F. 2001. A review of reproductive strategies in cephalopods. Biological Review, 76, 291-304.
- Rodhouse Paul G. (2005) Recursos mundiales de Calamares. En FAO, servicios de Recursos Marinos: Examen de la situación de los recursos pesqueros marinos mundiales. (194-207) Roma: FAO.
- Rosas-Luis, R., Salinas-Zavala, C.A., Koch, V., Del Monte-Luna, P., Morales-zarate, M.V., (2008). Importance of jumbo squid *Dosidicus gigas* (Orbigny, 1835) in the pelagic ecosystem of the central Gulf of California. Ecol. Mod. 218, 149–161.
- Rosas-Luis, R. (2005). Importancia del calamar gigante *Dosidicus gigas* Orbigny, 1835 en la estructura trófica del ecosistema pelágico de la porción central del Golfo de California. Tesis Licenciatura. UABCS. La Paz Baja California Sur. 75.
- Saldaña Hernández, J.I., (2008). Estructura poblacional del calamar gigante *Dosidicus gigas* d'Orbigny, 1835 capturado por la flota de Sinaloa en el Golfo de California, México, en el 2005. Tesis licenciatura. Facultad de Ciencias del Mar., Universidad Autónoma de Sinaloa. Sinaloa.
- Salinas-Zavala, C.A., Bazzino-Ferreri, G., Camarillo-Coop, S., Rosas-Luis, R., Mejía-Rebollo, A., Ramos-Castillejos, J.E., (2010) El calamar gigante *Dosidicus gigas* (D'Orbigny 1835) en Gaxiola-

**Distribución y abundancia del calamar gigante (*Dosidicus gigas*) en el Golfo de California utilizando hidroacústica de multifrecuencias durante junio de 2013**

Castro, G., Durazo, R., Dinámica del ecosistema pelágico frente a Baja California, 1997-2007. Diez años de investigaciones mexicanas de la Corriente de California. México.

- Sawada, Kouichi., Furusawa, Masahiko., (1993) Conditions for the precise measurement of fish target strength *in situ*. Fish Sci. 20, 15–21.
- Simmond, J., y MacLennan, D.N., (2007) Fisheries Acoustics: Theory and Practice .Black well Publishing.
- Taipé A., Yamashiro C., Mariategui L., Rojas P. Roque C., (2001) Distribution and concentrations of jumbo flying squid (*Dosidicus gigas*) off the Peruvian coast between 1991 and 1999. Fish. Res. 54 (2001)21-32.
- Velazquez-Abunader J. I., Nevárez-Martínez M. O., Y Hernández-Herrera A., (2010). Distribución de tallas y condición reproductiva del Calamar gigante *Dosidicus gigas* (d'Orbigny, 1835) en el Golfo de California. Océánides 25(2) 10-310.
- Waluda, C.M., Yamashiro, C., Rodhouse, P.G., 2006. Influence of the ENSO cycle on the light-fishery for *Dosidicus gigas* in the Peru Current: An analysis of remotely sensed data. Fish. Res. 79, 56–63.
- Waluda, C.M., Yamashiro, C., Rodhouse, P.G., 2006. Influence of the ENSO cycle on the light-fishery for *Dosidicus gigas* in the Peru Current: An analysis of remotely sensed data. Fish. Res. 79, 56–63.
- Wormuth, J.H. (1971) The biogeography, systematics and interspecific relationships of the oegopsid squid family Ommastrephidae in the Pacific Ocean. Ph.D. dissertation. Scripps Institution of oceanography, La Jolla, California.
- Yatsu A, Yamanaka K, Yamashiro C (1999) Tracking experiments of the jumbo flying squid *Dosidicus gigas*, with an ultrasonic telemetry system in the eastern Pacific Ocean. Bull Natl Res Inst Far Seas Fish 36.55–60.

**10. Anexo 1, longitud dorsal del manto (LDM) de *Dosidicus gigas* de 1995 hasta 2014.**

Año	Mes	LDM media	LDM mínima	LDM máxima	Fuente de los datos
1995	*	65	24	88	Guerrero -Escobedo
1996	*	31	16	88	Hernández Herrera
1997	*	62.1	16	92	Nevárez-Martínez <i>et al.</i> ,2006
1998	*	38.9	16	76	Nevárez-Martínez <i>et al.</i> ,2006
1999	*	58.6	28	88	Nevárez-Martínez <i>et al.</i> ,2006
2000	*	62.7	24	96	Nevárez-Martínez <i>et al.</i> ,2006
2001	*	63.1	26	92	Nevárez-Martínez <i>et al.</i> ,2006
2002	junio	48.7	20	94	Velázquez –Abunader <i>et al.</i> , 2010
2003	febrero	61	18	96	Velázquez –Abunader <i>et al.</i> , 2010
2004	mayo	39.7	24	80	Velázquez –Abunader <i>et al.</i> , 2010
2005	junio	60.7	22	90	Hoving <i>et al.</i> , 2013
2006	*	*	*	*	
2007	julio	57.47619	40	77	Campaña oceanográfica CAPEGOLCA III. Laboratorio de Ecología de Pesquerías del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología de la UNAM
2008	octubre	64.2	16	80	Hoving <i>et al.</i> , 2013
2009	*	*	*	*	
2010	marzo	64.424051	22.1	80.5	Campaña oceanográfica. CAPEGOLCA IV. Laboratorio de Ecología de Pesquerías del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología de la UNAM.
2010	septiembre	44.55	18.5	81	Campaña oceanográfica CAPEGOLCA V. Laboratorio de Ecología de Pesquerías del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología de la UNAM.
2011	octubre	28.606818	11.8	59	Campaña oceanográfica del CIBNOR

**Distribución y abundancia del calamar gigante (*Dosidicus gigas*) en el Golfo de California utilizando hidroacústica de multifrecuencias durante junio de 2013**

2012	agosto	39.263514	19	51	Campaña oceanográfica CALAMARES GOLFO. Laboratorio de Ecología de Pesquerías del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología de la UNAM.
2013	junio	36.24364	20	45	Campaña oceanográfica CALAMARES GOLFO II. Laboratorio de Ecología de Pesquerías del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología de la UNAM.
2014	febrero	40.703302	17.5	60	Campaña oceanográfica CALAMARES GOLFO III. Laboratorio de Ecología de Pesquerías del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología de la UNAM.