



CENTRO DE INVESTIGACIONES BIOLÓGICAS
DEL NOROESTE, S.C.

Programa de Estudios de Posgrado

**ESTUDIO ACÚSTICO DEL CALAMAR GIGANTE,
Dosidicus gigas (D'Orbigny, 1835): DETECCIÓN,
CARACTERIZACIÓN Y EVALUACIÓN DE
BIOMASA EN EL GOLFO DE CALIFORNIA,
MÉXICO**

T E S I S

Que para obtener el grado de

Maestro en Ciencias

Uso, Manejo y Preservación de los Recursos Naturales
(Orientación en Biología Marina)

P r e s e n t a

Violeta Estefanía González Máynez

La Paz, Baja California Sur, noviembre de 2018

ACTA DE LIBERACIÓN DE TESIS

En la Ciudad de La Paz, B. C. S., siendo las 10:00 horas del día 1 del Mes de Octubre del 2018, se procedió por los abajo firmantes, miembros de la Comisión Revisora de Tesis avalada por la Dirección de Estudios de Posgrado y Formación de Recursos Humanos del Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S. C., a liberar la Tesis de Grado titulada:

"ESTUDIO ACÚSTICO DEL CALAMAR GIGANTE, *Dosidicus gigas* (D'Orbigny, 1835): DETECCIÓN, CARACTERIZACIÓN Y EVALUACIÓN DE BIOMASA EN EL GOLFO DE CALIFORNIA, MÉXICO"

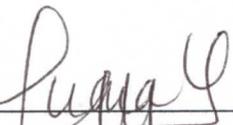
Presentada por el alumno:

VIOLETA ESTEFANÍA GONZÁLEZ MÁYNEZ

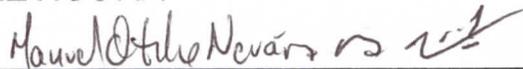
Aspirante al Grado de MAESTRO EN CIENCIAS EN EL USO, MANEJO Y PRESERVACIÓN DE LOS RECURSOS NATURALES CON ORIENTACIÓN EN **BIOLOGIA MARINA**

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

LA COMISIÓN REVISORA



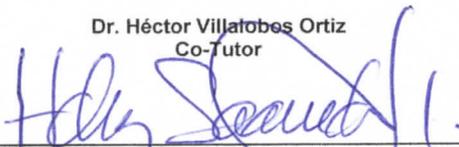
Dra. Juana López Martínez
Co-Director de Tesis



Dr. Manuel Otilio Nevárez Martínez
Co-Director



Dr. Héctor Villatobas Ortiz
Co-Tutor

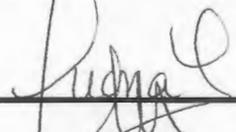


Dra. Norma Yolanda Hernández Saavedra,
Directora de Estudios de Posgrado y
Formación de Recursos Humanos

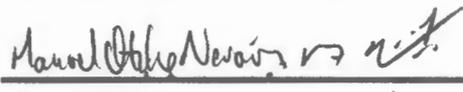
Resumen

En México la pesquería de calamar gigante, *Dosidicus gigas* (D'Orbigny, 1835), representa una actividad importante para la región noroeste del país, sin embargo muestra inestabilidad en su densidad año con año, lo que ha dificultado su manejo pesquero. En este contexto, los métodos directos de evaluación son cruciales para lograr la sustentabilidad porque evitan los sesgos generados por un esfuerzo dirigido, arrojando estimaciones más finas o directamente proporcionales a la abundancia. La acústica pesquera ofrece una observación casi continua y de alta resolución en la columna de agua y es una alternativa para estimar la distribución y abundancia de stocks de calamar. Para una evaluación precisa de la abundancia con métodos acústicos es necesaria la correcta estimación de la fuerza de blanco (TS), así como filtrar los dispersores no deseados de la ecointegración. En este trabajo se utilizó una ecosonda SIMRAD EK60 de haz dividido de 38 y 120 kHz para medir el TS *in situ* a partir de calamar gigante en siete estaciones de pesca en el Golfo de California. Los muestreos se hicieron con poteras manuales hasta 50 m de profundidad utilizando luz como método de atracción. Se utilizó el programa ESP3 para la selección de objetivos individuales y el índice N_v para disminuir la probabilidad de ocurrencia de ecos múltiples. En la separación de los cardúmenes aplicamos una técnica de diferencias en dB en los ecogramas a partir del escrutinio de seis estaciones de pesca, utilizando los valores de retrodispersión (S_v , dB $1m^{-1}$) de la siguiente manera: $\Delta S_v, 120-38 = S_{v120} - S_{v38}$. El intervalo óptimo se fijó para dispersores con ΔS_v entre -3 y +1 dB. El resultado de los modelos de regresión ajustados para cada frecuencia fueron: $TS_{38kHz} = 20 \log_{10}(LM) - 62$ ($R^2 = 0.69$, LM = 15-57 cm); $TS_{120kHz} = 20 \log_{10}(LM) - 76.59$ ($R^2 = 0.70$, LM = 15 a 57 cm). Ambos modelos se utilizaron en la estimación de biomasa de una campaña de prospección de calamar gigante de junio de 2014 dentro del Golfo de California, siguiendo el método de Simmonds y MacLennan., (2005). La distribución de S_A fue amplia y más densa en El Desemboque de arriba, Puerto Lobos y Puerto Libertad en la costa de Sonora, y en el Canal de Ballenas Salsipuedes y frente a la Bahía de San Luis Gonzaga en la costa de Baja California. La biomasa se estimó en 94,130 t y 67,041 t con 38 y 120 kHz, respectivamente. Los valores de TS de los modelos para el calamar gigante reportados en este trabajo encuentran semejanza a los publicados para las estimaciones de biomasa de otros calamares de la familia Ommastrephidae. Finalmente, este estudio proporciona nuevas perspectivas para la evaluación de recursos marinos en el Golfo de California y es una referencia útil para la estimación de biomasa de calamar gigante *Dosidicus gigas* en el Golfo de California.

Palabras clave: calamar gigante, fuerza de blanco, biomasa, Golfo de California



Vo. Bo. Dra. Juana López

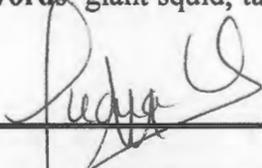


Vo. Bo. Dr. Manuel Nevárez

Summary

In Mexico, the fishery of the giant squid, *Dosidicus gigas* (D'Orbigny, 1835), represents an important activity for the northwest region of the country. Nevertheless, the catches showed variations in density year to year, resulting in a difficult management of this activity. In this context, direct methods to evaluate the biomass of the giant squid are crucial to achieve sustainability of this resource. Direct evaluation methods avoid the biases generated by a directed effort, that results in more accurate estimates or estimates that are directly proportional to the abundance of the resource. Fishing based in acoustic methods produces continual and high-resolution records of squids. To accurate the evaluation of the abundance of squids by acoustic methods, it is necessary to obtain a correct estimation of the target strength (TS), and to filter the unwanted dispersers of the ecointegration. In this work, a split beam echo sounder of 38 and 120 kHz SIMRAD EK60 was used to measure the in-situ TS of the giant squid in seven fishing stations in the Gulf of California. Squids were caught with manual jigs up to 50 m deep using lights to attract the organism. The ESP3 program was used to select individual objectives and the N_v index was used to reduce the probability of multiple occurrence of echoes. To segregate schools, differences in dB of the backscattering values (S_v , dB 1m^{-1}) of echograms of six fishing stations, were analyzed as follow: $\Delta S_v, 120-38 = S_{v120} - S_{v38}$. The optimum interval was set for dispersers with ΔS_v between -3 y +1 dB. The results of the adjusted regression models for each frequency were: $TS_{38\text{kHz}} = 20 \log_{10}(\text{LM}) - 62$ ($R^2 = 0.69$, LM = 15-57 cm); $TS_{120\text{kHz}} = 20 \log_{10}(\text{LM}) - 76.59$ ($R^2 = 0.70$, LM= 15 to 57 cm). Both models were used to estimate the biomass of the giant squid in the Gulf of California during a prospecting cruise in June 2014. The widest and more dense distributions of S_A in the Sonora coast were recorded in El Desemboque de Arriba, Puerto Lobos and Puerto Libertad areas, and for the Baja California Coast they were recorded in Canal de Ballenas Salsipuedes and in front of Bahía de San Luis Gonzaga. The biomass estimates for each area were 94,130 t and 67,041 t at 38 and 120 kHz, respectively. The values of the TS models for the giant squid reported in this paper are coincident to those previously published to estimate the biomass of other squids of the family Ommastrephidae. Finally, this study provides new perspectives to evaluate the marine resources in the Gulf of California and it is a useful reference to estimate the biomass of the giant squid *Dosidicus gigas* in the Gulf of California.

Keywords: giant squid, target strength, biomass, Gulf of California



Vo. Bo. Dra. Juana López



Vo. Bo. Dr. Manuel Nevárez

COMITÉ TUTORIAL

Dra. Juana López Martínez
Co- Director de tesis
Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S. C. La Paz, B.C.S.

Dr. Manuel Otilio Nevárez Martínez
Co- Director de tesis
Centro Regional de Investigación Pesquera. Guaymas, Sonora.

Dr. Hector Villalobos Ortíz
Co-Tutor
Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas. La Paz, B.C.S.

COMITÉ REVISOR DE TESIS

Dra. Juana López Martínez
Dr. Manuel Otilio Nevárez Martínez
Dr. Héctor Villalobos Ortíz

JURADO DEL EXAMEN DE GRADO

Dra. Juana López Martínez
Dr. Manuel Otilio Nevárez Martínez
Dr. Héctor Villalobos Ortíz

SUPLENTE

Dr. Enrique Morales Bojórquez

Dedicatoria

A los hombres y mujeres del mar, cuyo oficio se aprende en el agua, que lo llevan por dentro y nunca lo abandonarán.

Agradecimientos

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología CONACYT por la beca 782714 y al Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S.C. por haberme brindado la oportunidad de complementar mi formación académica.

Al proyecto “Respuestas poblacionales de algunas especies marinas del Golfo de California al cambio climático global” CB-2015-256477.

Al Instituto Nacional de Pesca y Acuicultura, especialmente al Centro Regional de Investigación Pesquera, Unidad Guaymas, por facilitarme el uso de los datos, el espacio para analizarlos y muchas facilidades para realizar este trabajo. A su personal técnico y administrativo.

Al Dr. Yoann Lacroix por su amplia disposición para orientarme durante el aprendizaje de su programa. Al equipo de acústica del Instituto Francés de Investigación para el Desarrollo (IRD), Dra. Anne Lebourges-Dhaussy, Dr. Yannick Perrot, Dr. Gildas Roudaut, Dr. Jérémie Habasque por su hospitalidad y grandes contribuciones para este trabajo.

A la Dra. Juana López por sus contribuciones y por ser parte de mi comité. Al Dr. Héctor Villalobos por permitirme ser parte de su equipo de trabajo desde hace mucho más tiempo del que llevó terminar este proyecto. Al Dr. Manuel Nevárez por creer en esta idea y compartir conmigo la curiosidad y el entusiasmo por desarrollarla.

A la Dra. Alma Rosa García Juárez, Directora del CRIP Guaymas, por su apoyo y genuino interés en el desarrollo académico y personal de esa institución. A todos los técnicos e investigadores del programa Calamar Gigante, especialmente a la Dra. Dana I. Arizmendi Rodríguez, M. en C. Eduardo Álvarez Transviña y Océan. César Navarro, quienes me han brindado su amistad durante años. Al Ing. Alejandro Valdez, por compartir conmigo su

pensamiento innovador y buenas ideas, pero más por mostrarme siempre un segundo camino para llegar a todas partes.

A los investigadores y técnicos del CIBNOR por la excelencia académica; a los Ings. Horacio Sandoval Gómez y Xicoténcatl Galicia García por tantas atenciones para poder llevar a cabo mis actividades remotamente; también a todos mis compañeros.

A mi hermana a la que amo profundamente y cuya conversación puede hacerme reír en todas las situaciones de la vida. A Daniel Hernández por brindarme su amistad desde cualquier parte del planeta. A Regina González por una amistad tan larga y divertida. A Iván Velázquez por ser mi compañero de viaje, amigo y confidente, siempre estás en mi mente y mi corazón.

A todas las personas con las que he compartido cruceros de investigación y muchos días y noches de muestreos, desvelos, mareos y ¡un montón de historias! ¡a todos los llevo en la memoria y cerca de mi corazón!

Contenido

Resumen	i
Summary	ii
Dedicatoria	iii
Agradecimientos	iv
Lista de figuras	viii
Lista de tablas	x
1. INTRODUCCIÓN	2
2. ANTECEDENTES	4
2.1 De la pesquería de calamar gigante en el Golfo de California.....	5
2.2 De las medidas de manejo existentes en la pesquería	6
2.3 De las estimaciones independientes de la pesquería	7
2.4 De la acústica pesquera	8
2.5 De la fuerza de blanco acústico (<i>TS</i> , <i>Target Strength</i>)	10
2.6 De la forma y posición del blanco.....	12
2.7 De los métodos para determinar el <i>TS</i>	13
2.8 El cálculo de <i>TS</i> en Calamar gigante y otras especies	14
2.9 Caracterización de agregaciones poco reflejantes.....	17
3. JUSTIFICACIÓN	18
4. HIPÓTESIS	19
5. OBJETIVO	19
5.1 Objetivo general.....	19
5.2 Objetivos particulares	20
6. MATERIAL Y MÉTODOS	20
6.1 Relación entre la longitud de manto del calamar gigante y la fuerza de blanco	20
6.1.1. Colecta de muestras biológicas	21
6.1.2 Equipo acústico y adquisición de datos.....	21
6.1.3 Muestreo acústico	23

6.1.4 Trabajo de gabinete. Fuerza de blanco	23
6.1.5 Separación de ecos individuales	27
6.1.6 Relación <i>TS</i> -Longitud de Manto	28
6.2.1 Separación de agregaciones de calamar gigante	35
6.2.2. Estimación de biomasa	37
7. RESULTADOS	38
7.1. Relación <i>TS</i> vs <i>LM</i>	38
7.2 Relación <i>TS</i> vs <i>LM</i>	44
7.3 Identificación y caracterización de agregaciones.....	54
7.4 Estimación de biomasa.....	59
8. DISCUSIÓN	60
8.1 Sobre el modelo de regresión lineal y las mediciones de <i>TS</i>	60
8.2 Sobre la separación y caracterización de cardúmenes	66
8.3 Sobre la estimación de biomasa	67
9. CONCLUSIONES	69
9.1 Sobre el <i>TS</i>	69
9.2 Sobre la categorización de las agregaciones	69
10. LITERATURA CITADA	70
11. ANEXOS	77

Lista de figuras

Figura 1. Zona de pesca de la flota calamarera en el Golfo de California. Localidades en las que se realizan los desembarcos de la pesca de calamar gigante (DOF, 2014).....	6
Figura 2. Derrotero estándar durante las campañas anuales de calamar gigante (<i>Dosidicus gigas</i>) a bordo del BIPXI. Isobatas de 200 y 500 m en azul y marrón respectivamente. Los puntos azules representan la posición de las estaciones seleccionadas para la estimación de la fuerza de blanco (<i>TS</i>) de calamar gigante.....	22
Figura 3. Sistema EK60 instalado a bordo del BIPXI. (A y B) equipo de cómputo; (C) concentrador Ethernet; (D) GPT's; (E) Transductores (38 y 120 kHz). Tomado de (Myriax, 2015).....	22
Figura 4. Esquema de la transmisión de un pulso de transductor de haz dividido (Tomado de Myriax, 2015).....	26
Figura 5. Composición de colores por respuesta para ecogramas sintéticos, imágenes RGB. Las agregaciones cuya respuesta fuera mayor en 38kHz que en 120 kHz tendrán colores rojo brillante, las agregaciones cuyas respuestas sean mayores en 120 kHz que en 38 kHz, colores fríos. Saturación en gris y poca actividad en negro.	31
Figura 6. Respuesta de frecuencias, estación de pesca 34. a y b) Respuesta de las agregaciones a cada frecuencia: respuesta mayor en 38kHz, colores cálidos; respuesta mayor en 120 kHz, colores fríos. c) Extracción de Sv en agregaciones. d y e) Diferencias de frecuencias y promedio de valores (dB), respectivamente.	32
Figura 7. Respuestas de frecuencia, estación de pesca 25. a y b) Respuesta de agregaciones a cada frecuencia: respuesta mayor en 38kHz, colores cálidos; respuesta mayor en 120 kHz, colores fríos. c) Extracción de Sv en agregaciones. d y e) Diferencias de frecuencias y promedio de valores (dB), respectivamente.....	33
Figura 8. Síntesis del método utilizado en la separación de cardúmenes de calamar gigante realizado en Matlab. Flechas rojas: matrices de inicio, líneas azules: matrices finales.	34
Figura 9. LM promedio por estación y la magnitud de la diferencia de Sv en dB entre las frecuencias: Sv 120-Sv38. Línea roja: Promedio de las diferencias entre Sv 120-Sv38 (Puntos azules).	36
Figura 10. Partes del derrotero original que se utilizaron en la ecointegración. Con respecto al derrotero anual, se descartaron los movimientos NW-SE cuya navegación fue vertical, excepto dentro del canal de ballenas Salsipuedes.	36
Figura 11. Distribuciones de longitud de manto (LM en cm) de calamar gigante a partir de los muestreos masivos realizados durante las estaciones de pesca utilizadas en la extracción de valores individuales de fuerza de blanco (<i>TS</i>).	39
Figura 12. Distribución de ecos individuales por estación y por campaña, frecuencia de 38 kHz, hasta los 50 m.....	41
Figura 13. Distribución de ecos individuales (<i>TS</i>) en dB por estación y por campaña, frecuencia de 120 kHz, hasta los 50 m.	42

Figura 14. Visión general de la distribución de <i>TS</i> con respecto a la talla promedio. Caja, cuartiles del 25 al 75 %. Mediana, línea negra. Los círculos vacíos representan los datos atípicos. La desviación estándar representada por líneas azules.....	43
Figura 15. Modelo lineal y residuos estandarizados para la frecuencia de 38 kHz. a). Modelo de regresión lineal entre en la <i>LM</i> (en cm) y la <i>TS</i> (en dB), basada en promedios por estación. b) Representación de los residuos y valores ajustados.	45
Figura 16. Modelo lineal y residuos estandarizados para la frecuencia de 38 kHz. a). Modelo de regresión lineal entre en la <i>LM</i> (en cm) y la <i>TS</i> (en dB), basada en promedios por estación. Frecuencia de 120 kHz. b) Representación de los residuos y valores ajustados.....	46
Figura 17. Modelos lineales con pendiente de 20. a) y b) Modelos de relación lineal con la fórmula estándar y típicamente más extendida, expresados en términos de la longitud del cuerpo; publicados por diferentes autores para las frecuencias 38 y 120 kHz, respectivamente.	48
Figura 18. Estación 26, fecha: 30-05-2014. a) y b) <i>Sv</i> de ecogramas originales 38 y 120 kHz, respectivamente; c) y d) Extracción de dispersores con ΔS_v en in intervalo de -3 y +1 dB, 38 y 120 kHz, respectivamente. Zonas en rojo: capturas de capturas de calamar por tiempo y profundidad. 51	
Figura 19. Estación 15, fecha: 27-05-2014. a) y b) <i>Sv</i> de ecogramas originales 38 y 120 kHz, respectivamente; c) y d) Extracción de dispersores con ΔS_v en in intervalo de -3 y +1 dB, 38 y 120 kHz, respectivamente. Zonas en rojo: capturas de capturas de calamar por tiempo y profundidad. 52	
Figura 20. Distribución espacial de las capturas totales durante el crucero de prospección acústica de calamar gigante realizado en junio de 2014. Tomado de Arizmendi-Rodríguez <i>et al.</i> (2014).....	54
Figura 21. Distribución del <i>sA</i> (m^2/nm^2) asociado al intervalo ΔS_v entre -3 y +1 dB. (120-38 kHz), en el Golfo de California, durante junio de 2014. Valores promedio por coordenada de los 3 a los 30 m.	55
Figura 22. Distribución del <i>sA</i> (m^2/nm^2) asociado al intervalo ΔS_v entre -3 y +1. dB (120-38 kHz), en el Golfo de California, durante junio de 2014. Valores promedio por coordenada de los 31 a los 60 m.	56
Figura 23. Distribución del <i>sA</i> (m^2/nm^2) asociado al intervalo ΔS_v entre -3 y +1 dB (120-38 kHz), en el Golfo de California, durante junio de 2014. Valores promedio por coordenada de los 61 a los 90 m.	57
Figura 24. Distribución del <i>sA</i> (m^2/nm^2) asociado al intervalo ΔS_v entre -3 y +1 dB (120-38 kHz), en el Golfo de California, durante junio de 2014. Valores promedio por coordenada de los 91 a los 110 m.	58

Lista de tablas

Tabla I. Principales configuraciones utilizadas en la ecosonda SIMRAD EK60 durante todas las campañas de calamar gigante en el Golfo de California, 2012-2016.	23
Tabla II. Configuración utilizada en el programa ESP3 para la extracción de los valores individuales de fuerza de blanco (<i>TS</i>) de calamar gigante (<i>Dosidicus gigas</i>).	28
Tabla III. Capturas en número de individuos y peso (kg) de las estaciones de pesca de calamar gigante utilizadas en la extracción de valores individuales de fuerza de blanco (<i>TS</i>).	40
Tabla IV. Resultados por campaña, estación y frecuencia de insonificación sobre los valores de <i>TS</i> con respecto a su LM y número de ecos	40
Tabla V. Coeficientes del modelo lineal ($TS = m \log L + b$) para ambas frecuencias utilizadas (38 y 120 kHz).	47
Tabla VI. Detalles del muestreo en las estaciones de pesca de calamar gigante empleadas para la identificación y caracterización de sus agregaciones acústicas.	49
Tabla VII. Biomasa calculada de calamar gigante (<i>Dosidicus gigas</i>), durante la primavera de 2014 en Golfo de California, México.	59
Tabla VIII. Valor del intercepto (b_{20}) en las relaciones de <i>TS</i> -LM publicadas con pendiente de 20 para las frecuencias 38 y 120 kHz. Tomada de Benoit-Bird <i>et al.</i> (2008).	64

1. INTRODUCCIÓN

En el contexto del manejo pesquero, la estimación de las existencias de los recursos de interés es un tema crucial para la toma de decisiones que conduzcan a la sustentabilidad (Gallucci *et al.*, 1996). Las estimaciones de abundancia se efectúan mediante métodos directos e indirectos (Gallucci *et al.*, 1996), dependiendo de la información y recursos materiales disponibles para la evaluación; los métodos directos tienen la ventaja de ser independientes de la pesquería y los sesgos generados por un esfuerzo dirigido, y si bien son más demandantes de recursos económicos, generalmente arrojan estimaciones más finas de las existencias o en su defecto son directamente proporcionales a la abundancia, por lo que las tendencias relativas se pueden seguir en el tiempo.

En México el calamar gigante, *Dosidicus gigas* (D'Orbigny, 1835), es un recurso pesquero importante, siendo la única especie de calamar explotada comercialmente en el país, su pesquería representa una actividad económica que genera gran cantidad de empleos y fuertes ingresos en la región noroeste (Nevárez-Martínez *et al.*, 2014). Tiene como característica fuertes fluctuaciones impredecibles en sus abundancias, cambiando su densidad año con año a manera de “pulsos”, de periodos asociados a mayores volúmenes de biomasa, seguidos por descensos en los volúmenes capturados, lo que ha dificultado su manejo pesquero (Nevárez-Martínez *et al.*, 2011). Actualmente este recurso se maneja siguiendo las medidas administrativas implementadas en la ficha técnica integrada en la Carta Nacional Pesquera (CNP), tomando como punto de referencia biológico el escape proporcional constante de al menos el 40 % de la biomasa adulta al final de la temporada de pesca (DOF, 2014; Nevárez-Martínez y Morales-Bojórquez, 1997). Esta última es calculada en el momento mismo que el reclutamiento es observado, generalmente durante los meses de mayo y junio (Hernández-Herrera *et al.*, 1998; Morales-Bojórquez *et al.*, 1997; Nevárez-Martínez *et al.*, 2014), basándose en la información obtenida por cruceros de investigación y usando el método de área barrida (Nevárez-Martínez *et al.*, 2000; 2006; 2014); en este método la razón entre la captura y el área barrida tienen por resultado la captura por unidad de área, lo que hace a este valor altamente dependiente del cálculo exacto del área barrida. Este método también supone que los organismos a evaluar se

distribuyen uniformemente en el espacio, aunque esto no refleje precisamente la realidad; la población de calamar gigante tiene varias cohortes que se reclutan anualmente, por lo que siempre se requerirá una nueva estimación de biomasa, al inicio de la temporada para evitar que el nivel de presión por pesca llegue a hacer insuficiente la respuesta compensatoria de la población para mantenerse en el tiempo, por lo que esta estimación debe ser lo más exacta posible (Overholtz *et al.*, 1986).

Por su parte, en diferentes partes del mundo las técnicas acústicas han demostrado ser fiables para la evaluación de las abundancias y distribución de las poblaciones de calamares (Benoit- Bird *et al.*, 2012; Cabreira *et al.*, 2011; Chen *et al.*, 2013; Foote *et al.*, 2006; Goss *et al.*, 1998; 2001; Lipinski y Soule 2007; Madureira *et al.*, 2005; Roberts *et al.*, 2002; Robinson *et al.*, 2014). De hecho, los métodos de la acústica pesquera pueden mejorar las estimaciones de densidad de las poblaciones a través del examen rápido de grandes áreas a un bajo costo y una alta resolución, muestrear intervalos de profundidad múltiples simultáneamente, adquirir y procesar grandes cantidades de información en tiempo real en un tiempo relativamente corto que pueden ser convertidas en datos espaciales y temporales sobre el tamaño de las poblaciones (Starr y Thorne, 1987). Además, estas estimaciones son independientes de las estadísticas pesqueras (altamente sesgadas) y los datos generados permiten tener las evaluaciones de biomasa antes de la temporada de pesca del stock (Moreno-Amich, 1990). No obstante su bondad, estos métodos presentan limitaciones diferentes a los modelos tradicionales, debido a que requieren de conocimientos previos sobre las poblaciones que se muestrean como composición de especies, tallas y pesos (Moreno-Amich, 1990), y contar con una relación bien verificada entre la longitud y las propiedades de reflexión acústicas del organismo que representa un factor de escala para convertir la intensidad del eco en abundancia, a lo que se le conoce como la fuerza de blanco (*TS*, *Target Strength*) (Simmonds y MacLennan, 2005). Es importante reconocer que la estimación de *TS* requiere un muestreo preciso solo del componente del stock que contribuye a las mediciones de x , mientras que las prospecciones de abundancia acústica requieren un muestreo que tiene como objetivo proporcionar información sobre toda la población objetivo (Ona, 1999). Es por ello que otro de los puntos críticos en la evaluación

de recursos con métodos acústicos, es la identificación y posterior caracterización de las agregaciones asociadas a la especie de interés.

Debido a que la estimación de la fuerza de blanco (TS) es una parte trascendental para una estimación confiable de un recurso, en este trabajo se define esta relación a partir de varios experimentos *in situ* abarcando una amplia distribución de tallas de calamar gigante con la finalidad de determinar las propiedades acústicas de la población en su conjunto, como lo es la dependencia del valor por el tamaño; asimismo, se realiza la identificación de las agregaciones asociadas al calamar gigante a través del uso de un filtro bi-frecuencia con la finalidad de proponer una metodología para llevar a cabo estimaciones de densidad por métodos acústicos del calamar gigante en regiones tropicales como el Golfo de California.

2. ANTECEDENTES

El calamar gigante *Dosidicus gigas* (D'Orbigny, 1835) es un molusco cefalópodo que pertenece a la familia Ommastrephidae y a la subfamilia Ommastrephinae (Nesis, 1983); es una especie nerítico-oceánica subtropical, de crecimiento rápido y una longevidad que no supera los dos años. El ejemplar con mayor tamaño registrado es de 152 cm (Hernández-Herrera *et al.*, 1996). Se distribuye en el Pacífico Oriental desde Monterey, California (EUA) hasta Chile (Ehrhardt *et al.*, 1986; Hernández-Herrera *et al.*, 1996; Nesis, 1983; Nevárez-Martínez *et al.*, 2000; Nigmatullin *et al.*, 2001), aunque en años de alta abundancia de esta especie, migra en densas agregaciones hacia aguas templadas y subpolares del norte de USA y Canadá (Field *et al.*, 2007; Zeidberg y Robison, 2007) y hacia el sur hacia la parte central de Chile (Alarcón-Muñoz *et al.*, 2008). Batimétricamente se le encuentra en la plataforma continental y hasta 1200 m de profundidad. En México se ubica principalmente en la parte central del Golfo de California, aunque también se ha registrado presencia notable a lo largo de la costa occidental de la península de Baja California (Hernández *et al.*, 1996; Nevárez-Martínez *et al.*, 2000, 2006).

Los adultos realizan migraciones verticales diarias; durante la noche se ubican entre 0 y 200 m de profundidad y durante el día pueden hundirse entre los 300 y 1000 m (Bazzino *et al.*, 2010; Gilly *et al.*, 2006, 2012; Nigmatullin *et al.*, 2001; Yatsu *et al.*, 1999). Asimismo, llevan a cabo migraciones horizontales de larga distancia, formando agregaciones que llegan a moverse a velocidades entre 5 y 25 km·h⁻¹ (Nesis, 1970; Nigmatullin *et al.*, 2001). En México, el calamar gigante migra desde el Océano Pacífico hacia el Golfo de California durante invierno y primavera y en la dirección opuesta durante verano y otoño (Ehrhardt *et al.*, 1983, 1986; Klett, 1981; Nigmatullin *et al.*, 2001), las concentraciones especialmente altas se encuentran en las costas de Perú (Nigmatullin *et al.*, 2001). Según Nigmatullin *et al.* (2001), con base en sus tallas, se pueden distinguir tres grupos de machos y hembras adultos: uno pequeño (130 – 260 mm y 140-340 mm respectivamente), un grupo mediano (240-420 mm y 280-600 mm, respectivamente) y uno grande (>400 mm y 550-650 mm a 1000-1200 mm, respectivamente).

2.1 De la pesquería de calamar gigante en el Golfo de California

El manejo pesquero del calamar gigante presenta retos inherentes a su gran variabilidad poblacional (Nevárez-Martínez *et al.*, 2014). Las estimaciones de biomasa que ha realizado el Instituto Nacional de Pesca y Acuacultura (INAPESCA) desde 1996 hasta la fecha destacan periodos de alta abundancia (1996, 2003 a 2011), seguidos de declinación de la biomasa poblacional (1998-2000 y 2015-2016). A partir de 2014 la población está conformada casi en su totalidad por organismos que no superan los 35 cm de longitud del manto (LM).

La principal área de pesca se localiza entre los 22° y 28° N y los 109° y 114° W (Hernández- Herrera *et al.*, 1996, 1998; Morales-Bojórquez *et al.*, 1997; Transviña-Carrillo *et al.*, 2018), con los mayores volúmenes de captura de calamar obteniéndose principalmente en la región central del Golfo de California entre los estados de Baja California Sur y Sonora (Morales-Bojórquez *et al.*, 2001; Nevárez-Martínez *et al.*, 2000, 2006, 2010) (Fig. 1). Actualmente la mayor parte de las actividades en esta pesquería son llevadas a cabo en Santa Rosalía, Baja California, donde una flota artesanal pesca de abril a septiembre y en Guaymas, Sonora, donde barcos camaroneros y una flota artesanal pescan de octubre a julio (Morales-Bojórquez *et al.*, 2001; Nevárez-Martínez *et al.*, 2006; 2014). Esta dinámica tiene su explicación en las migraciones estacionales que realiza *D. gigas* entre Santa Rosalía y Guaymas, de octubre-noviembre, realizando el viaje de regreso desde abril-mayo hasta finales de junio (Gilly *et al.*, 2006; Markaida, 2001; Nevárez-Martínez, comunicación personal).

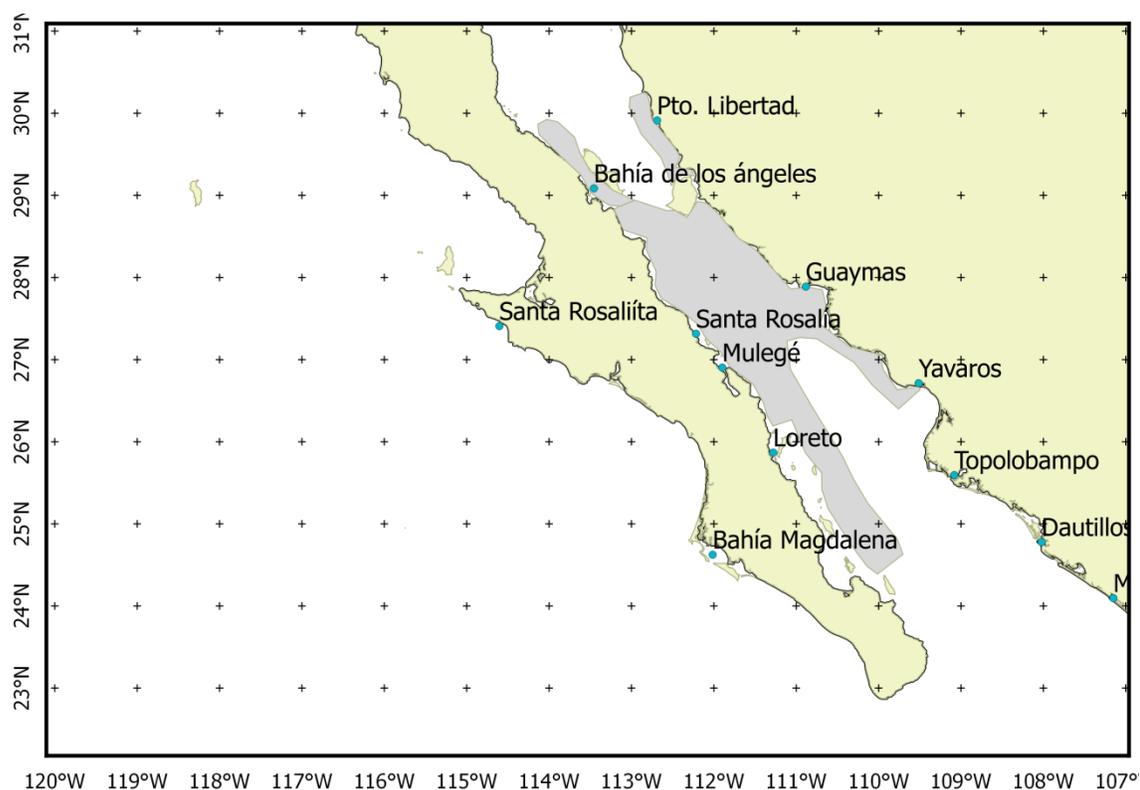


Figura 1. Zona de pesca de la flota calamarera en el Golfo de California. Localidades en las que se realizan los desembarcos de la pesca de calamar gigante (DOF, 2014).

2.2 De las medidas de manejo existentes en la pesquería

Al tener esta población varias cohortes que se reclutan anualmente, se requiere una estimación de biomasa antes de comenzar la temporada para evitar que el nivel de presión por pesca llegue a reducir el tiempo de vida de las cohortes anuales que conforman la biomasa total de la población, lo que puede llegar a crear una inestabilidad poblacional hasta el punto del colapso pesquero (Overholtz *et al.*, 1986); es por ello crítico para su aprovechamiento y manejo, definir el tamaño de la población y su distribución antes de que comience la temporada de pesca.

Actualmente el calamar gigante en México se rige a través de la Carta Nacional Pesquera (CNP), instrumento normativo de la actividad pesquera del país y que fue publicada por primera vez en el Diario Oficial de la Federación (DOF) el 28 de agosto del 2000, misma

que se revisa y actualiza periódicamente. En la CNP las medidas han evolucionado paulatinamente, en su primera versión, se mencionaba el uso de talla mínima, que no es útil en esta pesquería. Incluso, el mismo documento no hace referencia a talla alguna. En la versión siguiente, publicada en el DOF (2004), se eliminó el uso de talla mínima como medida administrativa de manejo por carecer de sustento técnico, manteniéndose únicamente como medidas de manejo: a) los permisos de pesca comercial, b) control del esfuerzo de pesca con base en una cuota anual de captura, sustentada en evaluaciones de la biomasa vulnerable por parte del INAPESCA. El punto de referencia biológico que se aplica es mantener un escape proporcional constante de al menos el 40 % de la biomasa adulta al final de la temporada de pesca (DOF, 2004, 2010; Nevárez-Martínez y Morales-Bojórquez, 1997), la cual es calculada en el momento mismo que el reclutamiento es observado durante los meses de mayo y junio (Hernández-Herrera *et al.*, 1998; Morales-Bojórquez *et al.*, 1997; 2001; 2001b). Estas estimaciones están basadas en la información independiente de la pesquera obtenida por cruceros de investigación utilizando el método de área barrida (Nevárez-Martínez *et al.*, 2000, 2006, 2014).

2.3 De las estimaciones independientes de la pesquería

Los datos dependientes de la pesquería, que incluyen la captura desembarcada, los descartes, las características biológicas de la captura (edad y composición de tallas, porcentaje de sexo, madurez gonádica), el esfuerzo de pesca, la distribución de la captura y el esfuerzo, etc., pueden ser usados para desarrollar índices de cambios en la abundancia del stock, sin embargo, validar estos índices como proporciones reales de los cambios en la estructura del stock usualmente requiere comparaciones con índices independientes de la pesquería. Los datos independientes de la pesquería incluyen información de la distribución, abundancia y biología de las especies que serán evaluadas. Un método adecuado para la evaluación independiente de la pesquería debe ser calibrado para medir la abundancia absoluta de la especie, o en su defecto ser directamente proporcional a la abundancia. A medida que la serie temporal se hace más larga, la información de

tendencias se vuelve más útil (NMES, 2001). La evaluación por métodos acústicos proporciona información independiente de la pesquería, siendo estos los indicadores más confiables de los cambios en la abundancia de la población, asimismo son aplicables a diferentes escalas y pueden generar la información necesaria a incorporar en los marcos de la ordenación pesquera y toma de decisiones.

2.4 De la acústica pesquera

La herramienta básica para la acústica pesquera es la ecosonda científica, un sistema sonar que funciona enviando una señal eléctrica a un transductor, muchas veces montado sobre el casco del barco, el cual convierte esta señal en un pulso sonoro a través de la vibración del material piezoeléctrico de cerámica del cual está compuesto, este pulso -también llamado *ping*- se desplaza verticalmente a través de la columna de agua partiendo desde la cara del transductor. Los objetos con los que se encuentra tienen una densidad diferente a la del medio circundante y generan oscilaciones de presión -ecos- que se propagan en todas las direcciones lejos del objeto, las oscilaciones de presión que se confinan en una dirección tal que tengan el mismo ángulo a la superficie que el pulso incidente, viajan de regreso a la cara del transductor en donde se genera un voltaje, que nuevamente se convierte en señales eléctricas y posteriormente a su versión digital, los ecogramas (Simmonds y MacLennan, 2005). Los ecogramas son entonces, una representación visual de una matriz numérica que se construye mostrando los ecos de cada pulso sonoro a lo largo de líneas verticales sucesivas que están separadas horizontalmente por una pequeña distancia, cuando la embarcación está en desplazamiento, el ecograma puede ser interpretado como una sección transversal vertical de la columna de agua, si la embarcación está detenida, el ecograma representa una serie temporal de observaciones del mismo volumen (Simmonds y MacLennan, 2005). El sistema calcula la distancia del pez al transductor midiendo el intervalo de tiempo entre la emisión del pulso sonoro y el recibimiento del eco, conociendo la velocidad del sonido en el agua (aproximadamente $1500 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$) (Fernandes *et al.*, 2002). Como es natural, la intensidad de la energía disminuirá con la distancia del objeto debido al

esparcimiento esférico y a la absorción de energía por el agua, por lo que el sistema también compensa estas pérdidas utilizando una función interna (ganancia crono-variable, TVG, por las singlas en inglés de *Time Varying Gain*).

Actualmente, la información proporcionada por sonares y ecosondas es un factor importante en la eficiencia de las operaciones pesqueras comerciales, mientras que la constante sofisticación de las técnicas y equipos acústicos científicos ha tenido un impacto creciente en la investigación marina (Simmonds y MacLennan, 2005). A través de estos instrumentos es posible observar la vida marina y cuantificar su abundancia, establecer sus patrones de distribución espacial y temporal, así como estudiar su conducta e interacciones con otros organismos marinos (González-Chávez y Arenas-Fuentes, 2003; Sameoto, 1976). Estas aplicaciones están ampliamente expandidas en la investigación pesquera, pero es de particular importancia para la gestión de la pesca la medición de la abundancia de peces (Gunderson, 1993; Simmons y MacLennan, 2005). Cuando la ecosonda es correctamente calibrada, se pueden cuantificar los niveles absolutos de ecos y promediarlos, produciendo una cantidad que es proporcional a la densidad de los peces según el principio de linealidad (Fernandes *et al.*, 2002; Foote, 1983). La densidad de peces calculada por los barcos de investigación que navegan a lo largo de transectos definidos, se interpolan y se extrapolan a toda el área de la prospección para dar una estimación de abundancia (Fernandes *et al.*, 2002; MacLennan y Simmonds, 1992). Según Moreno-Amich (1990), algunas de las ventajas de este método sobre otros son: (1) la independencia de las estadísticas pesqueras, lo que permite su aplicación en stocks no explotados o poco explotados, (2) la capacidad para la estimación absoluta del tamaño de una población, al tratarse de un muestreo no selectivo, (3) su alto poder de muestreo, que es como mínimo de un grado de magnitud mayor que en la pesca exploratoria, lo que hace que el costo operacional sea bajo, siendo el mayor costo el asociado a la compra del equipo, y (4) la baja varianza metodológica, resultado de la alta capacidad de muestreo. Asimismo estos métodos presentan algunas limitaciones como: (1) el efecto de evitamiento de los peces al paso de la embarcación, y (2) la incapacidad para detectar peces en la superficie debido a la distancia mínima de detección (por efecto de la duración del pulso), esta incapacidad suele afectar al primer

metro de la columna muestreada, (3) la dificultad en la detección de peces de fondo, especialmente en aquellas especies que están en contacto con él, (4) la partición en varias especies de la biomasa total estimada requiere información auxiliar que suele obtenerse por submuestreo con redes, y finalmente (5) las estimaciones de biomasa de peces a través de eointegración requieren conocimientos previos sobre las poblaciones que se muestrean: composición de especies, tallas y pesos, además del conocimiento de la relación entre la fuerza de blanco y la talla, lo que nos habla de las propiedades reflectivas de los organismos a evaluar.

2.5 De la fuerza de blanco acústico (TS, *Target Strength*)

Cuando un objeto es insonificado por un instrumento acústico, parte de la energía transmitida considerada localmente plana, es reflejada como eco directamente hacia el instrumento (retrodispersada) de manera esférica. A la sección transversal de retrodispersión del objeto se le conoce como σ_{bs} , esta puede ser concebida como un área física que está relacionada con el tamaño del objeto, es un parámetro significativo en términos físicos que se mide en unidades de área (m^2) y se define en términos de la intensidad incidente y retrodispersada de la siguiente manera:

$$\sigma_{bs} = r^2 \frac{I_b(r) 10^{\alpha/10}}{I_{inc}} \quad (1)$$

Dónde:

I_{inc} intensidad incidente; I_b intensidad retrodispersada; r distancia del objeto al transductor.

La expresión logarítmica de la proporción de la energía retrodispersada por el objeto, se conoce como fuerza de blanco o *Target Strength* (TS, dB re $1 m^2$) (Simmons y MacLennan, 2005).

$$TS = 10 \log_{10} (\sigma_{bs}) \quad (2)$$

Los resultados de los experimentos de fuerza de blanco se expresan a menudo en términos de la longitud del cuerpo L usando la ecuación:

$$TS = m \log L + b \quad (3)$$

Donde m y b son constantes para una especie dada. Ésta ecuación ha sido generalmente aceptada como una descripción razonable y conveniente, si no necesariamente exacta, de cómo la fuerza de blanco promedio depende de la longitud de los peces (Foote, 1979a). La pendiente m y el intercepto b pueden estimarse mediante regresión lineal de la fuerza de blanco. Esta ecuación no implica una relación determinista que pueda aplicarse a un pez individual. L es la longitud media del grupo observado y TS es el valor esperado (es decir, medio) de la fuerza de blanco (Simmonds y MacLennan, 2005). En el caso de los organismos fisostomos, m consistentemente se encuentra cercana a 20, de aquí que b se define como b_{20} , lo que sustituye a la fórmula anterior por la fórmula estándar y más típicamente extendida:

$$TS = 20 \log L + b_{20} \quad (4)$$

La primera condición para la evaluación acústica de cualquier especie es que la fuerza de blanco represente una relación bien verificada entre la longitud y las propiedades de reflexión acústica del organismo, ya que constituye el factor de escala que se requiere para convertir la intensidad del eco en abundancia (Zhang *et al.*, 2015). La fuerza de blanco es altamente variable, incluso para el mismo organismo es poco probable que la fuerza de blanco sea constante, debido entre otras cosas, a la fuerte influencia de los cambios de la orientación del cuerpo en relación a la dirección de la onda incidente, al estado fisiológico de la vejiga natatoria (si es que tiene), etc. Es por esto que se considera una variable estocástica, una cantidad que tiene una distribución de valores y un valor medio que es el promedio de un gran número de mediciones, mientras que las mediciones individuales estarán ampliamente dispersas alrededor de esta media (Simmons y MacLennan, 2005). Los resultados de experimentos con diferentes peces son necesarios para determinar las propiedades de resistencia de la población en su conjunto, como por ejemplo la dependencia con el tamaño. En este contexto, un blanco debe estar suficientemente aislado

de sus vecinos para evitar cualquier interferencia de ecos, ya que si los ecos de dos o más peces se reciben al mismo tiempo, no es posible determinar una fuerza de blanco útil y éstos deberán ser ignorados. Físicamente, esto significa que sólo un objetivo puede ocupar el volumen de resolución acústica para que la medición sea válida (Ona, 1999). Para que dos blancos sean percibidos individualmente, el rango (ΔR) entre dos objetivos (R_1 y R_2 , m) debe ser de al menos la razón de la duración del pulso (τ , s) multiplicado por la velocidad del sonido (c $m \cdot s^{-1}$) entre 2.

$$\Delta R = R_2 - R_1 > c\tau/2 \quad (5)$$

La presencia de ecos solapados se puede detectar examinando la forma o la coherencia de fase de la señal recibida. Actualmente, en las ecosondas científicas se han implementado detectores de fuerza de blanco cuyo objetivo es seleccionar objetivos aislados para la medición de este valor (Simmons y MacLennan, 2005).

2.6 De la forma y posición del blanco

El campo de dispersión del sonido dependerá de la forma del objeto (de aquí en adelante llamado “blanco”) y de su posición en relación a la dirección de la onda incidente. El valor estará en función de la forma del blanco, de las propiedades acústicas y del ángulo de inclinación. El ángulo de inclinación, definido como el ángulo entre el eje a lo largo del blanco y el frente de onda incidente, tiene una fuerte influencia. En el caso de los blancos asimétricos (largos y delgados, como es el caso de peces y calamares), es necesario distinguir las orientaciones *head-up* y *head-down* para las cuales los ángulos de inclinación son respectivamente, positivos y negativos. Cuando el pulso transmitido interactúa con un blanco asimétrico, la energía en la onda reflejada cambia a medida que el blanco se inclina. Este efecto sucede porque el tamaño aparente del blanco, visto desde el transductor que transmite, disminuye a medida que aumenta la inclinación. Asimismo, mientras que el tamaño aparente varía como el coseno del ángulo de inclinación, la energía del eco puede cambiar aún más rápidamente debido a la interferencia entre las ondas reflejadas de diferentes partes del blanco. Cuando el blanco es paralelo al frente de onda incidente, todas

las ondas reflejadas están en la misma fase y se refuerzan entre sí. Cuando el blanco se inclina, las ondas que se originan en los extremos opuestos del blanco se vuelven progresivamente fuera de fase y la amplitud sumada se reduce (Simmons y MacLennan, 2005). La fuerza de blanco de calamares vivos es muy variable debido principalmente a los movimientos del ángulo de inclinación del cuerpo que son peculiares en el calamar, ya que carecen de un mecanismo de control de flotabilidad particular (Kawabata, 2005). La contracción y expansión alternas del manto, los movimientos de la aleta (Kang *et al.*, 2006), así como la disminución del ángulo de inclinación durante el nado activo (movimientos que le permiten evitar depredadores y capturar presas) tienen como resultado afectaciones en las mediciones de *TS*.

2.7 De los métodos para determinar el *TS*

En general se utilizan tres métodos experimentales para determinar el *TS*, (1) métodos *ex situ* donde el organismo está inmobilizado e inconsciente, (2) métodos *ex situ* donde el organismo es activo pero confinado, y (3) métodos *in situ* donde el organismo es salvaje y libre de comportarse normalmente en su entorno natural (Midttun, 1984; Simmonds y MacLennan, 2013).

Las mediciones en experimentos *in situ* proveen una buena estimación de la fuerza de blanco para escalar los valores producto de la ecointegración y pueden ser directamente aplicables a las campañas acústicas en poblaciones silvestres, porque no perturban al organismo o su comportamiento natural (Foote, 1986). Por otro parte, Kawabata (2005) señala que el ángulo de inclinación en el cuerpo de los calamares es cero en el eje horizontal y los valores de fuerza de blanco calculados disminuyen cuando los calamares están enjaulados o atados por la aleta y no pueden nadar libremente, tal como ocurren en los experimentos *ex situ*.

Los calamares se consideran blancos acústicos poco reflejantes al ser organismos que carecen de vejiga natatoria. En los peces, la vejiga natatoria contribuye con el 90 al 95 %

del valor de la fuerza de blanco (Foote, 1980). Según Arnaya y Sano (1990), los factores que determinan su retrodispersión son: (1) el tamaño y la forma del cuerpo, (2) la frecuencia de insonificación usada, (3) componentes estructurales del cuerpo y sus parámetros físicos, especialmente densidad y velocidad del sonido, (4) la orientación y comportamiento y (5) el movimiento de natación. Se entiende generalmente que la dispersión del calamar es dominada por la composición fluida de su cuerpo (los músculos) con propiedades materiales muy cercanas al agua de mar (Iida *et al.*, 2006; Kang *et al.*, 2006; Lee *et al.*, 2012). Existen dudas sobre la contribución de la dispersión de otras partes del cuerpo, incluyendo el pico y la pluma de quitina, los ojos, los órganos internos como el hígado y las gónadas, el cráneo e incluso la parte engrosada de los tentáculos (Benoit-Bird *et al.*, 2008; Goss *et al.*, 2001; Lee *et al.*, 2012; Madsen *et al.*, 2007).

Con respecto a sus movimientos de natación, los calamares utilizan un sistema de propulsión a chorro y la ondulación de sus aletas como método de nado y de escape de depredadores: el agua en la cavidad del manto del calamar es presurizada por la contracción de poderosos músculos que rodean circunferencialmente la pared del manto, luego es expulsada como un chorro cerca de la cabeza y el calamar es propulsado, primero el manto que arrastra con él los brazos. Son capaces de propulsarse en varias direcciones dirigiendo su musculatura (Anderson y DeMont, 2000), de modo que, en general, el calamar se inclina cambiando su ángulo de insonificación, lo cual afecta la dispersión del sonido.

2.8 El cálculo de *TS* en Calamar gigante y otras especies

Los trabajos al respecto de la evaluación, revisión o estimación de la fuerza de blanco de diferentes especies de calamares son limitados. Al principio, se llegó a la conclusión de que el *TS* de calamar vivo es significativamente diferente del de los especímenes muertos, al estar dominado por el cuerpo fluido y las fuertes variaciones de la orientación del calamar en relación con la onda acústica incidente (Arnaya *et al.*, 1989; Arnaya y Sano, 1990; Kajiwara *et al.*, 1990). Con base en estos hallazgos, en los experimentos más recientes se

han utilizado calamares vivos y la variación del TS con el ángulo de orientación ha sido uno de los objetivos principales de varios estudios (Benoit-Bird *et al.*, 2008; Kang *et al.*, 2004, 2005; Kawabata, 1999, 2001, 2005; Lee *et al.*, 2012).

A través de modelos computacionales se ha caracterizado las tendencias generales de la fuerza de blanco de algunas especies de calamar (Arnaya y Sano *et al.*, 1990; Jones *et al.*, 2009; Lee *et al.*, 2012; Mukai *et al.*, 2000). Los esfuerzos con experimentos *ex situ* e *in situ* se describen a continuación.

Kang *et al.* (2004) estimaron las propiedades de dispersión acústica del calamar japonés, *Todarodes pacificus*, para dos frecuencias: 38 y 120 kilo Hertz (kHz). En su trabajo calcularon el ángulo de natación a partir de videos durante el nado libre de los organismos para relacionarlo con los valores de la fuerza de blanco. El valor máximo de fuerza de blanco coincidió con el ángulo de flotación (horizontal), los resultados indicaron una alta correlación con el ángulo de inclinación. Los resultados de este trabajo sugieren que se necesita la aportación de las mediciones de organismos con una amplia distribución de tallas para mejorar el ajuste del modelo. Kawabata (2005) realizó un experimento *ex situ* utilizando una frecuencia de 38 kHz con ejemplares vivos de la misma especie, a los cuales mantuvo suspendidos horizontalmente, obteniendo el valor medio de la fuerza de blanco sin considerar la influencia de la orientación del cuerpo en algún otro ángulo. Sus resultados fueron utilizados en estimaciones de densidad en este mismo recurso. Kang *et al.* (2005) utilizaron la misma especie de calamar para realizar un experimento con el objetivo de conocer el mecanismo de la influencia de los cambios en el ángulo de inclinación durante el proceso de nado en el valor de la fuerza de blanco, utilizando las frecuencias 38 y 120 kHz, sus resultados mostraron una tendencia negativa de la fuerza de blanco con el aumento del ángulo de inclinación tipo *head-down*. André *et al.* (2005) utilizaron especímenes de *Loligo vulgaris* y *Sepia officinalis* de alrededor de 25 cm en un experimento *ex situ*, confinándolos en piscinas poco profundas. Usaron una frecuencia de 15 kHz y sus resultados fueron comparados con las relaciones generales de TS para peces sin vejiga natatoria publicadas por Love (1971), encontrando una buena concordancia con su valor medido. Para *Loligo pealeii*, Madsen *et al.* (2007) realizaron un estudio *ex situ* en el que midieron la

retrodispersión acústica en frecuencias similares a las emitidas por la ballena dentada y concluyeron que es el manto lo que contribuye principalmente a la dispersión y no las partes duras de su cuerpo (como la pluma o el pico). Especialmente importante es el trabajo publicado por Benoit-Bird *et al.* (2008), por ser la primera estimación de la fuerza de blanco para *Dosidicus gigas* dentro del Golfo de California, utilizando tanto métodos *in situ* como *ex situ*, con organismos vivos y muertos en las frecuencias 38, 70, 120 y 200 kHz. En sus resultados hubo diferencias relativamente pequeñas en la fuerza de blanco entre los aspectos dorsal y anterior y ninguno entre calamares vivos y muertos, así mismo, sus resultados apoyan la hipótesis de que la pluma puede ser una fuente importante de dispersión acústica en el calamar. El pico, los ojos y los brazos también jugaron un papel en la dispersión acústica, pero sus efectos fueron pequeños y específicos de la frecuencia, los valores de la fuerza de blanco *ex situ* coincidieron con los resultados obtenidos *in situ*. Soule *et al.* (2010) trabajaron con *Loligo reynaudii* en experimentos *ex situ* en los que usaron jaulas donde los organismos estuvieron contenidos, pero en nado libre; también efectuaron experimentos *in situ* en agregaciones de desove en el medio silvestre hechos ambos durante el día. En los dos casos usaron las frecuencias 120 y 38 kHz. Utilizaron dos métodos para extraer las distribuciones de los valores de fuerza de blanco, ambos sobre la base de que los valores inferiores a -60 dB son típicamente de macro y micro necton, sus resultados sugieren que las estimaciones *in situ* son afectadas por la embarcación utilizada y la forma en que el calamar reacciona a ella y concluyen que las mediciones *in situ* deben realizarse simultáneamente durante la prospección de la campaña para maximizar su aplicabilidad a las estimaciones de biomasa. En *Loligo pealeii*, también durante un experimento *ex situ*, Lee *et al.* (2012) identificaron el mecanismo de dispersión dominante del calamar en diferentes ángulos de orientación con una señal de entre 60 a 103 kHz, concluyendo que las partes frontal y posterior dominaban la dispersión mientras que los brazos tenían un efecto significativo en otros ángulos. Cheng *et al.* (2013) analizaron la mejor selección de longitud de pulso para la adquisición de datos acústicos durante los experimentos *in situ* de *Sthenoteuthis oualaniensis*, utilizando las frecuencias 38 y 120 kHz, asimismo midieron el efecto de la luz artificial durante las operaciones de pesca de calamar y el valor de la fuerza de blanco. Sus resultados indican que la medición de la

fuerza de blanco *in situ* de calamar es posible siempre que la recolección de muestras con las artes de pesca represente plenamente la distribución de tallas y que una vez aboyados por medio de la luz artificial, la densidad del calamar disminuye con la profundidad. Zhang *et al.* (2015) midieron las relaciones entre la fuerza de blanco *in situ* y la longitud de manto en esta misma especie, con frecuencias de 70 y 120 kHz en los primeros 50 m de la columna de agua, obteniendo las muestras de calamar a través de la pesca con red y utilizando luz como método de atracción; utilizaron el índice Nv (número de blancos por volumen acústico de muestreo) para seleccionar las áreas con mayor probabilidad de tener ecos individuales. Sus resultados muestran que puede existir un sesgo por la aceptación de objetivos múltiples en densidades altas de calamar, lo que ocasionaría una ligera sobrestimación del valor de la fuerza de blanco.

2.9 Caracterización de agregaciones poco reflejantes

El siguiente punto crítico en la evaluación de recursos con métodos acústicos es la identificación y posterior caracterización de las agregaciones asociadas a la especie de interés. Existen al respecto trabajos con diferentes métodos y especies de calamares.

Vaughan y Recksiek (1979) caracterizaron cardúmenes de *Loligo opalescens* en la bahía de Monterey, California. Verificaron sus observaciones mediante la pesca de arrastre, la pesca con poteras y la observación visual usando frecuencias de 38 y 200 kHz; ellos reportan tres patrones de agregación: trazos continuos asociados al fondo, rastros en forma de penacho en el medio de la columna y menos común, “motas” dispersas en toda la columna de agua que se forman cuando los calamares son atraídos hacia la superficie. Lipinski *et al.* (1998) cuantificaron la densidad de las agregaciones de desove asociadas al fondo de *Loligo vulgaris reynaudii* en Sudáfrica, utilizando una ecosonda de haz dividido de 38 kHz. Goss *et al.* (1998; 2001) caracterizó agregaciones acústicas de *Loligo gahi* a través de pesca de arrastre en frecuencias de 38 y 120 kHz y sugiere, que siendo el calamar un dispersor acústico débil, podría dispersarse de la misma manera que el mesozooplancton o el krill antártico.

En trabajos más recientes se deja de lado la separación de agregaciones únicamente basándose en datos morfométricos de la agregación, recurriéndose a nuevos enfoques y herramientas analíticas para cuantificar la diferencia (en dB) de la fuerza de retrodispersión del volumen medio (S_v) entre diferentes frecuencias para separar los tipos de dispersores biológicos (Ballón *et al.*, 2011; Bedford *et al.*, 2015; Béhagle *et al.*, 2017; Fielding *et al.*, 2014; Saunders *et al.*, 2013). Cabreira *et al.* (2011), utiliza dos frecuencias: 38 y 120 kHz para diferenciar las concentraciones del calamar *Illex argentinus* de otras agregaciones en el área, ellos concluyen que la diferencia es de +5 dB (s_v 120-38 kHz). Chen *et al.* (2013) indicaron que la relación lineal entre 120 y 70 kHz usando S_v es casi perfecta, por lo que analizando el ΔS_v , el investigador puede juzgar si ciertos ecogramas pertenecen o no a *Sthenoteuthis oualaniensis*. Kang *et al.* (2005) encuentra en *Todarodes pacificus* una respuesta con una diferencia de 0.7 a 2.5 dB, más alta en 120 kHz que en 38 kHz. Benoit-Bird *et al.* (2008), ubica la respuesta de *Dosidicus gigas* mayor en la frecuencia de 38 kHz, que en cualquier otra frecuencia (70, 120 y 200), una diferencia de hasta +5.6 dB que estos autores atribuyen a la particular anatomía del calamar gigante.

3. JUSTIFICACIÓN

Según la FAO, en las pesquerías de cefalópodos en el mundo, los calamares representan la gran mayoría de las capturas (FAO, 2016). Dichas pesquerías suelen mostrar capturas muy variables como resultado de grandes fluctuaciones en la abundancia y disponibilidad de estos recursos, al estar muy influenciados por la variabilidad ambiental (Rodhouse *et al.*, 2013), lo que supone un desafío para la administración de estos recursos. Hablando únicamente de México, para las empresas que se localizan en los estados de Sonora y Sinaloa, así como para los otros actores de la pesquería (pescadores), contar con la distribución espacial horizontal y vertical antes de que comience la temporada de pesca, podría darles certidumbre sobre los pronósticos para asumir compromisos de producción, tanto nacional como internacional, antes y durante la temporada de pesca. Debido a que las evaluaciones acústicas presentan estas bondades han llegado a ser en las últimas tres décadas uno de los métodos más ampliamente usados para la estimación de stocks y

actualmente son parte importante de la rutina de manejo de las pesquerías alrededor del mundo.

El desarrollo de una metodología bi-frecuencia para separar la energía correspondiente a calamares del resto del ecosistema y posteriormente poder convertir estos valores en abundancia a través de un factor de escala bien verificado, contribuirá a disminuir la incertidumbre en las estimaciones de biomasa con métodos acústicos de calamar gigante así como de otras especies de calamares. Esta información podrá ser utilizada con fines de manejo ecológico y pesquero.

4. HIPÓTESIS

Si debido al nado activo del calamar gigante y su reacción al estímulo luminoso existen cambios en los ángulos de la sección transversal del blanco, entonces las estimaciones de la fuerza de blanco acústico obtenidas de calamares vivos serán al menos 10 dB menores que los valores de resistencia de objetivos medidos para calamares muertos, o vivos en suspensión.

Si las propiedades corporales del calamar gigante son cercanas al agua de mar, entonces la respuesta acústica de sus agregaciones se comportarán de manera similar a los organismos considerados como *fluid-like* y podrán separarse de otras agregaciones con un método bi-frecuencia usando transductores de 120 y 38 kHz.

5. OBJETIVO

5.1 Objetivo general

Estimar la abundancia poblacional del calamar gigante *Dosidicus gigas* en el Golfo de California, mediante la aplicación de métodos de la acústica pesquera.

5.2 Objetivos particulares

1. Determinar la relación entre la longitud de manto y la fuerza de blanco (*TS*) *in situ* del calamar gigante (*Dosidicus gigas*) en el Golfo de California.
2. Identificar y caracterizar las agregaciones acústicas de calamar gigante (*Dosidicus gigas*) en el Golfo de California.
3. Estimación de la abundancia y distribución del calamar gigante *Dosidicus gigas* en el Golfo de California, mediante acústica pesquera.

6. MATERIAL Y MÉTODOS

6.1 Relación entre la longitud de manto del calamar gigante y la fuerza de blanco

Se utilizaron campañas de prospección acústica-pesquera de calamar gigante llevadas a cabo por el Instituto Nacional de Pesca y Acuicultura (INAPESCA) durante los meses de junio y octubre de 2014 a 2016 dentro del Golfo de California, México. Estas campañas se realizaron a bordo del Barco de Investigación Pesquera B/O -BIP XI-, de 22.6 m de eslora, 7.32 m de manga y 3.5 m de calado. Los derroteros cubrieron alrededor de 60 estaciones en líneas perpendiculares a la costa y paralelas entre sí, desde Puerto Libertad, Sonora, hasta Punta Chivato en Baja California, tomando en cuenta las profundidades cercanas a los 20 m hasta rebasar la isóbata de los 500 m (Fig. 2). En cada estación se empleó una fuente de luz como método de atracción durante 15 minutos antes de comenzar la maniobra de pesca. El sistema de iluminación consistió en dos lámparas incandescentes de 2000 W ubicadas a los costados de la embarcación a 7 m sobre la superficie del mar siguiendo a Nevárez-Martínez *et al.* (2000). La maniobra de pesca duró 30 minutos y se utilizaron seis poteras fluorescentes manuales, dos de 4" con 2 coronas de 1" de diámetro y 14 púas por corona; dos de 8" con 3 coronas de 1.5" de diámetro y 18 púas por corona; y dos de 12" con 5 coronas de 1.5" de diámetro y 18 púas por corona, con la finalidad de muestrear toda la estructura de tallas de la estación.

6.1.1. Colecta de muestras biológicas

Durante la estación se registró la posición geográfica (grados, minutos y segundos) al inicio y al término, el tiempo efectivo de pesca, la hora exacta de primera captura, la profundidad (en intervalos de 5 metros) a la que cada organismo atacó y/o fue capturado por la potera, el número de calamares capturados y el peso total de la captura por estación. De cada muestra obtenida por estación se realizó un muestreo masivo de longitud de manto (LM en cm) de hasta 100 organismos cuando la captura de la estación lo permitió, la LM se tomó con una cinta métrica y se registró el peso en una báscula.

6.1.2 Equipo acústico y adquisición de datos

La adquisición de datos acústicos se realizó entre las 18:00 horas de un día a las 06:00 del día siguiente con una ecosonda científica marca SIMRAD modelo EK60 provista de dos transductores tipo *split beam* con frecuencias 120 y 38 kHz y ángulo de 12 y 7 grados, respectivamente, ambos montados en el casco de la embarcación. Estos transductores están divididos en 4 cuadrantes y aunque el impulso de la transmisión se aplica a todo el transductor, cada uno procesa separadamente. De esta forma, la dirección del blanco se determina comparando las señales recibidas por cada cuadrante, debido a que la diferencia de fase entre las señales recibidas por los cuadrantes depende de la dirección del blanco. Cada transductor está conectado a un Transceptor de Propósito General (*GPT, General Purpose Transceiver*) que procesa la señal y que a su vez se conectan por medio de un concentrador de red a una computadora personal desde donde se opera todo el sistema: encendido y apagado, cambios en la longitud de pulso de sonido, número de pulsos, etc. (Fig. 3).

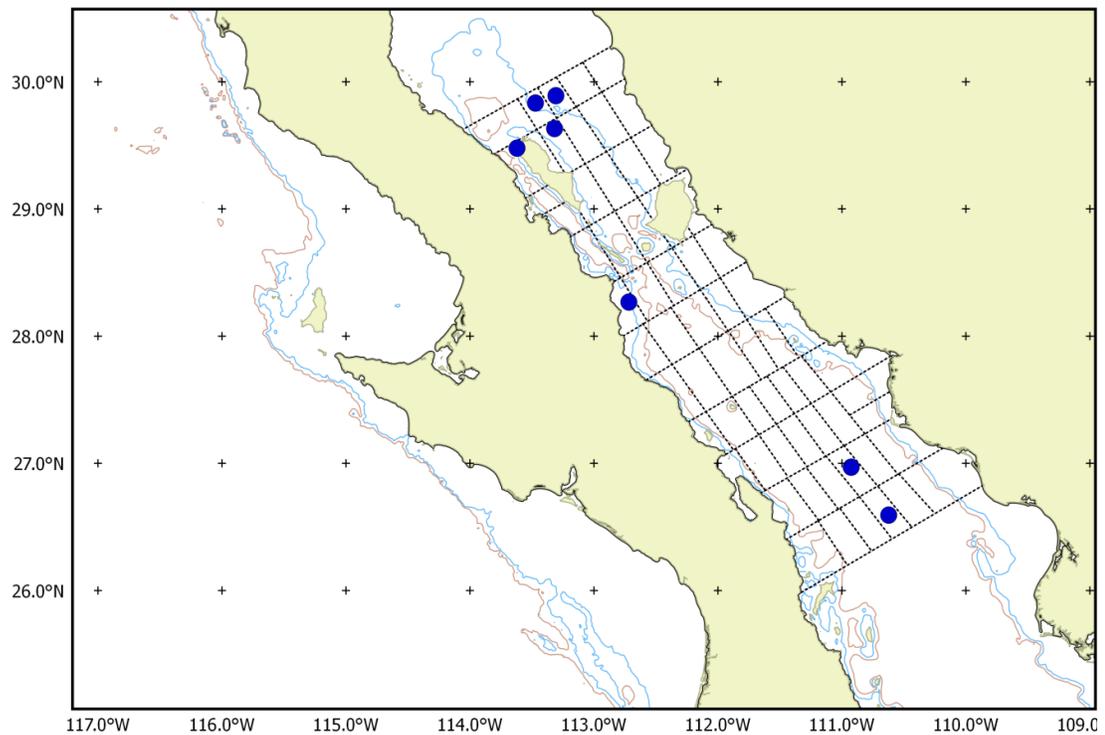


Figura 2. Derrotero estándar durante las campañas anuales de calamar gigante (*Dosidicus gigas*) a bordo del BIPXI. Isobatas de 200 y 500 m en azul y marrón respectivamente. Los puntos azules representan la posición de las estaciones seleccionadas para la estimación de la fuerza de blanco (TS) de calamar gigante.

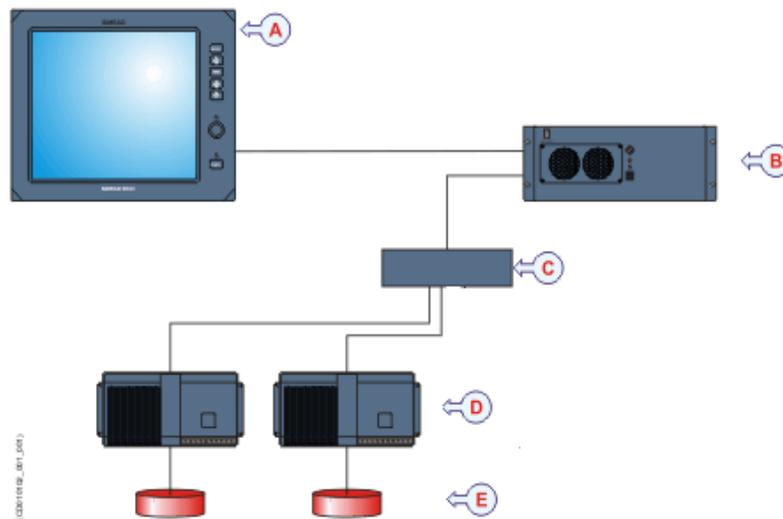


Figura 3. Sistema EK60 instalado a bordo del BIPXI. (A y B) equipo de cómputo; (C) concentrador Ethernet; (D) GPT's; (E) Transductores (38 y 120 kHz). Tomado de (Myriax, 2015).

6.1.3 Muestreo acústico

Durante las estaciones, de manera estándar, se utilizó una longitud de pulso de 512 milisegundos (μs) y un intervalo de muestreo de 128 μs para ambas frecuencias (38 y 120 kHz). La tasa de emisión de pulsos fue de 0.5 s cuando la profundidad fue mayor de 500 m y 0.25 s para estaciones con profundidades menores (Tabla I), esto con la finalidad de evitar la formación de ecos múltiples del fondo. Los archivos de datos sin procesar (.raw) se guardaron en el mismo disco duro de la computadora que controlaba las ecosondas, para su posterior reproducción y análisis.

Tabla I. Principales configuraciones utilizadas en la ecosonda SIMRAD EK60 durante todas las campañas de calamar gigante en el Golfo de California, 2012-2016.

Menú de operación	Frecuencia	38 000 Hz	120 000 Hz
	Intervalo del disparo	Maximum	Maximum
	Power	1000 W	250 W
Menú del transductor	Duración del pulso	512 us	512 us
	Intervalo de muestreo	128 us	128 us
	Ancho de banda	3275 Hz	5557 Hz
	Ganancia del transductor (sv)	21 dB	27 dB
	Ángulo del haz	-15.50 dB	-21 dB
	Sensibilidad del ángulo	A lo largo 12.5, transversal 12.5	A lo largo 23, transversal 23

6.1.4 Trabajo de gabinete. Fuerza de blanco

Se revisaron un total de 180 estaciones, provenientes de las campañas realizadas en 2014, 2015 y 2016. En la selección de estaciones se priorizaron aquellas en donde: (1) la operación de pesca se realizó durante un tiempo calmo, esto con la finalidad de evitar la pérdida de información en la columna de agua por los bandazos del barco debido al viento

u otras condiciones del mar; (2) las que tuvieron mayores capturas en peso y en número de individuos; y por último, (3) se buscó incluir todos los rangos de tallas (LM promedio por estación) de modo que se pudiera observar el rango más bajo y el más alto de la distribución. Se eliminaron las estaciones donde no hubo capturas durante las operaciones de pesca, aun cuando se tuviera la confirmación visual de cardúmenes de calamar. La talla promedio de cada estación se calculó como un promedio ponderado por intervalos de tallas a partir del muestreo masivo.

Los valores de la fuerza de blanco se extrajeron de los ecogramas tomando como referencia la hora de la primera captura y la profundidad máxima hasta donde se realizó la pesca. A cada estación se le asignó la talla promedio obtenida del muestreo masivo. El calamar gigante forma cardúmenes constituidos de decenas de individuos de tamaño uniforme esparcidos ampliamente (Markaida, 2001; Nesis, 1970, 1983), por lo que las operaciones de pesca en las estaciones resultan en tallas de LM con rangos muy estrechos y bastante consistentes entre sí.

Para la selección de blancos se hicieron rejillas de 100 pings en la dimensión horizontal por 10 metros en la vertical, hasta la profundidad máxima de pesca de las poteras durante la estación (profundidad que registrada durante el muestreo), comúnmente 40 m. Se utilizó el algoritmo de objetivos individuales *Single Target*, y de seguimiento *Target Tracking* del programa ESP3¹ (ver_0.8.1), desarrollado por el equipo de acústica de pesca en aguas profundas de NIWA (*National Institute of Water and Atmospheric Research*, Wellington, Nueva Zelanda). En la tabla II se muestra la configuración utilizada para la selección de los valores de fuerza de blanco, así como otras configuraciones importantes.

El umbral (TS_{thr}) representa el valor más bajo para recibir los ecos de interés. Cualquier señal recibida cuya amplitud estuvo por encima del umbral predeterminado se consideró, mientras que todos los valores por debajo del umbral fueron ignorados (Fig. 4). La razón para aplicar el umbral es rechazar el ruido y los ecos de objetivos muy pequeños (Myriax, 2015). El nivel de determinación de longitud de pulso (PLDL, *Pulse Length Determination*

¹ <https://sourceforge.net/p/esp3/wiki/ESP3/>

Level) define cuantos decibeles por debajo del valor máximo de un pulso detectado debe tener en cuenta el programa al determinar la longitud del pulso durante la detección de objetivos individuales (Myriax, 2015), este valor fue de 6 dB.

Una manera de evitar demasiadas detecciones falsas o perder detecciones reales son las opciones que se refieren a la longitud de pulso normalizada mínima y máxima (*Min Normal PL* y *Max Normal PL*), utilizar una longitud de pulso muy corta ocasiona la pérdida de detecciones reales, y una demasiado larga permite detecciones falsas (Myriax, 2015) (Fig. 4). La función de la longitud normalizada mínima es rechazar el ruido y la interferencia masiva de ecos múltiples a distancias similares, y la de la longitud normalizada máxima es eliminar la superposición de ecos múltiples provenientes de distancias aún sin resolver (Demer *et al.*, 1999). Típicamente, una longitud de pulso normalizada de 0.7 resulta en tres muestras en un pulso, más de 1 y menos de 1.25 tendrá como resultado 4 muestras, esto porque cada muestra se separa por 0.25 de longitud de pulso (Myriax, 2015).

Las ecosondas de haz dividido, además de la medición directa de la fuerza de blanco, permiten fijar el volumen muestreado a un valor constante, se puede definir un "cono de aceptación", de este modo los ecos que provengan desde fuera de este cono son rechazados, por lo que el volumen del que se registran los ecos no depende del tamaño del objetivo, sino del volumen muestreado (Simmons y MacLennan, 2005), y se puede reducir el volumen de la muestra (ángulo del haz) eligiendo un valor inferior para la compensación de ganancia máxima (*Max Beam Comp.*); ésta se ajustó a 12 con una desviación estándar de 3 (*Along Angle and Across Angle*) (Fig. 4), que se utiliza para rechazar ecos incoherentes provenientes de objetivos múltiples sin resolver (Demer *et al.*, 1999). El valor de corrección devuelto por el modelo de ganancia del transductor no debe exceder el ajuste de compensación de ganancia máxima. Se ignora a todos los objetivos individuales fuera del ángulo correspondiente a la compensación de ganancia elegida. Por lo tanto, se puede reducir el volumen de la muestra eligiendo un valor inferior para la compensación de ganancia máxima (Myriax, 2015) (Fig. 4).

Los ajustes en el algoritmo para detectar rastros o *tracks* determinan una ubicación predicha para el próximo objetivo dentro de un *track*. Esta ubicación predicha se compara con la observada para determinar si el objetivo debe considerarse como candidato para el rastro o debe rechazarse. En estos algoritmos existe la sensibilidad a cambios imprevistos de posición, incluyendo velocidad y cambios de dirección del objetivo (Myriax, 2018). Se utilizaron los valores de fuerza de blanco de los *tracks* resultantes de los algoritmos *Single Target* y *Target Tracking*, que se combinaron en una sola tabla para su análisis.

Detección de objetivo único

Método de haz dividido

compensación del haz $> \text{max}$
 desviación del ángulo $< \text{max}$

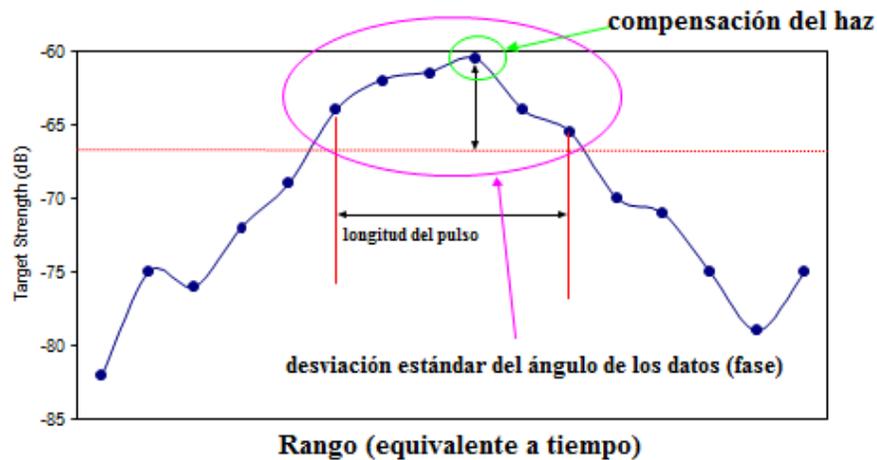


Figura 4. Esquema de la transmisión de un pulso de transductor de haz dividido (Tomado de Myriax, 2015).

6.1.5 Separación de ecos individuales

Para cada estación, la sección transversal de retrodispersión (σ_{bs}), que representa a la TS en el dominio lineal, fue calculada con los valores de TS individuales a partir de la fórmula:

$\sigma_{bs} = 10^{\left(\frac{TS}{10}\right)}$. Con esos valores se calculó el promedio de la siguiente manera:

$\sigma_{bs} = (\sigma_1 + \sigma_2 + \dots + \sigma_N) / N$. Posteriormente dicho valor promedio fue regresado al dominio logarítmico para tener el valor TS promedio usando la fórmula $TS = 10 \log (\sigma_{bs})$ (Rudstam *et al.*, 2003; Simmons y MacLennan, 2005; Zhao, 2006; Zhang *et al.*, 2015). Al finalizar, todos los TS individuales fueron divididos en grupos de 1 dB.

Para cada celda (100 pings x 10 m) se calculó el índice N_v , propuesto por Sawada *et al.*, (1993) y modificado por Zhang *et al.* (2015). Este índice es considerado como la probabilidad de ocurrencia de ecos múltiples, y depende de la densidad, la longitud del pulso, la profundidad de la muestra y el ancho del haz (Rudstam *et al.*, 2003). El eco de un pez y/o calamar se convierte en eco múltiple cuando el número de organismos en el volumen de reverberación efectivo de un ping incrementa (Sawada *et al.*, 1993). El N_v se calculó usando los valores de TS *in situ* de cada estación de acuerdo a la ecuación modificada por Zhang *et al.* (2015): $N_v = \frac{c\tau\varphi R^2\delta_v}{2}$, y $\delta_v = \frac{S_v}{\sigma_{bs}}$.

Dónde:

$C=1500$ m/s; τ =la duración del pulso; R^2 = rango (m);

S_v = Coeficiente de retrodispersión por volumen (m^2/ m^3);

σ_{bs} = Sección transversal de retrodispersión (m^2)

φ = Ángulo de haz equivalente (sr)

Tabla II. Configuración utilizada en el programa ESP3 para la extracción de los valores individuales de fuerza de blanco (*TS*) de calamar gigante (*Dosidicus gigas*).

Función	Variable	Valor
Objetivo único	<i>TS thrt(dB)</i>	-60
	<i>PLDL (dB)</i>	6
	<i>Min Normal PL</i>	0.8
	<i>Max Normal PL</i>	1.8
	<i>Max. Beam Comp.</i>	12
	<i>Along Angle (°)</i>	3
	<i>Across Angle (°)</i>	3
Seguimiento Valores	<i>Along</i>	20
	<i>Across</i>	20
	<i>Range</i>	20
	<i>TS</i>	20
	<i>Ping Gap</i>	20
	Seguimiento	<i>MinST</i>
<i>MinPings</i>		2
<i>MaxPingsGap</i>		1

6.1.6 Relación *TS*-Longitud de Manto

De las ciento ochenta estaciones revisadas se seleccionaron las siete que mejor cumplían los requisitos descritos anteriormente. Los valores medios de *TS* fueron relacionados al valor promedio de LM, calculado a partir de la información del muestreo masivo en cada una de las estaciones de pesca (Fig. 11; Tabla III). La relación *TS*-LM se deriva de ambos valores a través del modelo $TS = a \log_{10}LM + b$, donde *a* y *b* son los parámetros del modelo de regresión. El cálculo de datos y análisis estadístico se hizo en el ambiente del lenguaje de programación R (R Core Team, 2018).

6.2 Identificación y caracterización de las agregaciones acústicas de calamar gigante

Para el procesamiento de datos se utilizó el programa **Matecho** versión 20180611V5_StandAlone² desarrollado por el Instituto Francés de Investigación para el Desarrollo (IRD, *Institut de Recherche pour le Développement*). Para la conversión de archivos digitales del formato RAW EK60 hasta el formato HDF5 se siguió la metodología general de **Matecho**, la corrección del fondo y la eliminación de ecos múltiples en la columna de agua se hizo manualmente.

Todos los datos acústicos se degradan en mayor o menor medida por la contribución de señales no deseadas provenientes de fuentes mecánicas, eléctricas (como el uso de otros equipos que operen en el barco), biológicas o debidas al mal tiempo (Simmonds y MacLennan, 2005), mismas que pueden repercutir negativamente en la integración de los resultados por aportar más energía de la que realmente corresponde al muestreo. Estas señales no deseadas, se removieron de los ecogramas usando la metodología descrita en Ryan *et al.* (2015) para el ruido transitorio, las señales atenuadas y el ruido impulsivo; para eliminar el ruido de fondo se utilizó el algoritmo descrito en De Robertis *et al.* (2007). Todo ello desde los filtros que forman parte del programa **Matecho**.

La eointegración se realizó con un umbral de -80 dB, contabilizando los valores a partir de 3 metros desde la superficie y hasta 110 m de profundidad para minimizar al máximo la posible interferencia de la saturación de la señal de 120 kHz. La unidad de muestreo elemental (ESU, *Elementary Sampling Unit*) fue de 3 pings por considerar que las agregaciones son mejor representadas mientras la embarcación está detenida.

Se ubicaron las ESU's del muestreo de calamar durante la pesca y fueron separadas del resto de los archivos con la finalidad de tomar en cuenta únicamente las características acústicas correspondientes en tiempo y profundidad al muestreo de calamar durante la faena de pesca (Tabla IV). Los valores de retrodispersión (S_v , dB $1m^{-1}$) de las ESU's se

² <https://svn.mpl.ird.fr/echopen/MATECHO/>

incorporaron en ecogramas sintéticos utilizando tres colores: azul, rojo y verde para construir una imagen compuesta RGB. Basado en la magnitud de respuesta, los colores cálidos se definieron para 38 kHz y los fríos para 120 kHz (Fig. 5). Una vez obtenida la respuesta de color de las agregaciones de calamar gigante en los ecogramas sintéticos se tomó en cuenta la profundidad y forma de las agregaciones para seleccionar y extraer los valores de S_v . Luego se graficaron para evaluar la respuesta de las agregaciones a las dos frecuencias de insonificación. Con esto se calculó la diferencia entre la respuesta en 120 y en 38 por celda de eointegración de la siguiente manera: $\Delta S_{v, 120-38} = S_{v120} - S_{v38}$. El promedio del S_v se calculó en el dominio lineal, posteriormente fue convertido de nuevo al dominio logarítmico y se graficó por estación. La desviación estándar del S_v también se calculó en el dominio lineal como valor de referencia para cada estación (Figs. 6 y 7; Anexos A-G). Todo esto se realizó con ayuda de Matlab Versión 7.5.0.342.R (2007b) y se resume en la figura 8.

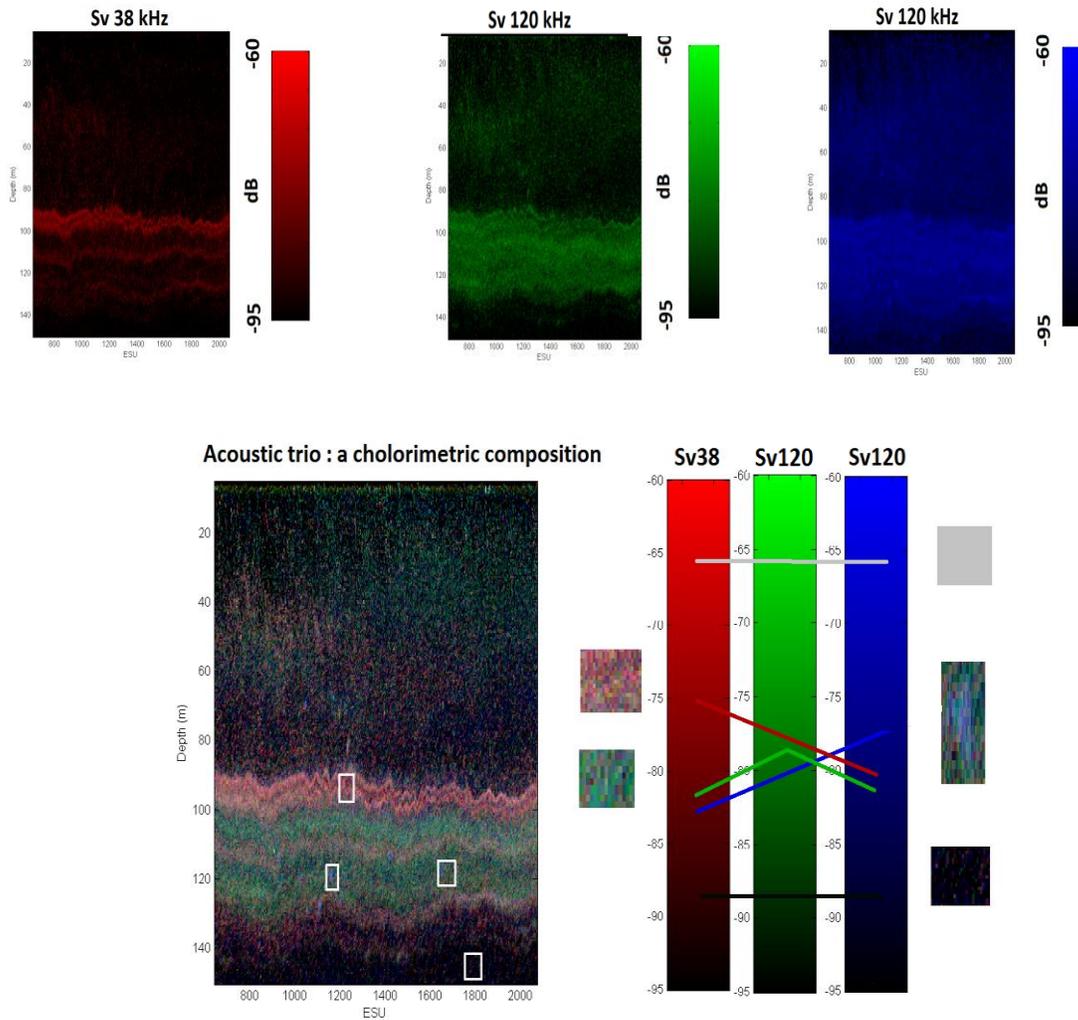


Figura 5. Composición de colores por respuesta para ecogramas sintéticos, imágenes RGB. Las agregaciones cuya respuesta fuera mayor en 38kHz que en 120 kHz tendrán colores rojo brillante, las agregaciones cuyas respuestas sean mayores en 120 kHz que en 38 kHz, colores fríos. Saturación en gris y poca actividad en negro.

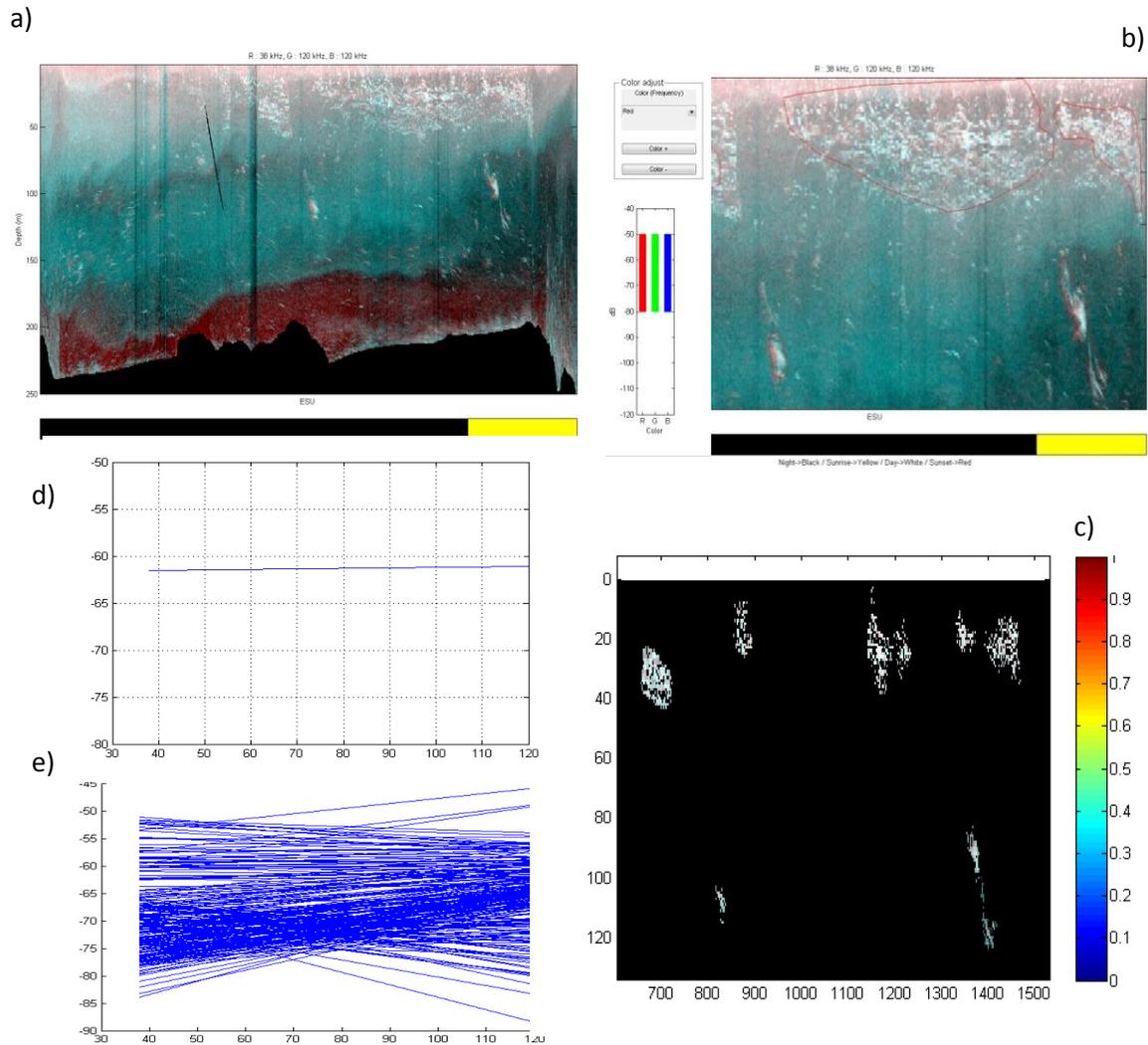


Figura 6. Respuesta de frecuencias, estación de pesca 34. a y b) Respuesta de las agregaciones a cada frecuencia: respuesta mayor en 38kHz, colores cálidos; respuesta mayor en 120 kHz, colores fríos. c) Extracción de S_v en agregaciones. d y e) Diferencias de frecuencias y promedio de valores (dB), respectivamente.

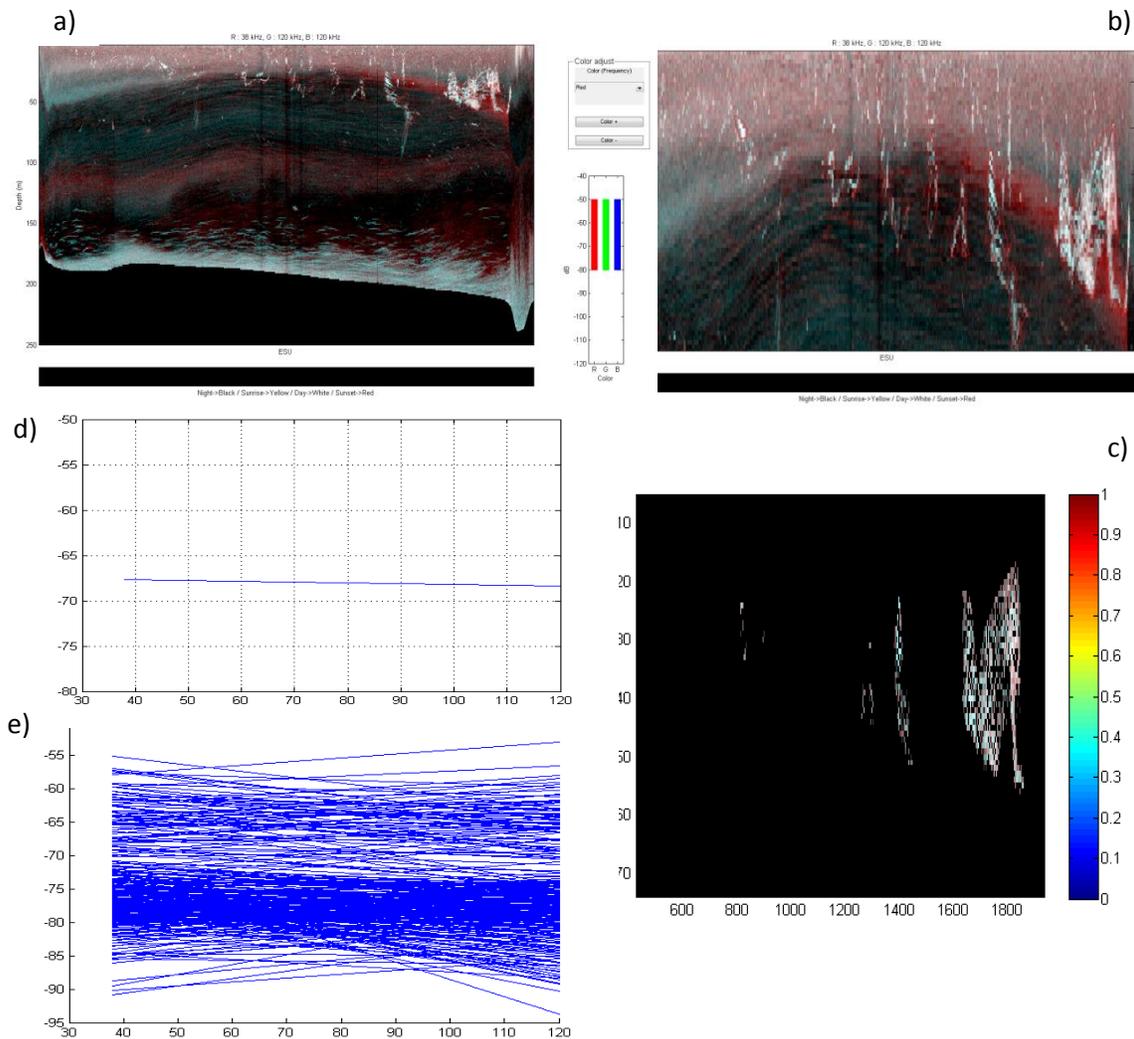


Figura 7. Respuestas de frecuencia, estación de pesca 25. a y b) Respuesta de agregaciones a cada frecuencia: respuesta mayor en 38kHz, colores cálidos; respuesta mayor en 120 kHz, colores fríos. c) Extracción de S_v en agregaciones. d y e) Diferencias de frecuencias y promedio de valores (dB), respectivamente.

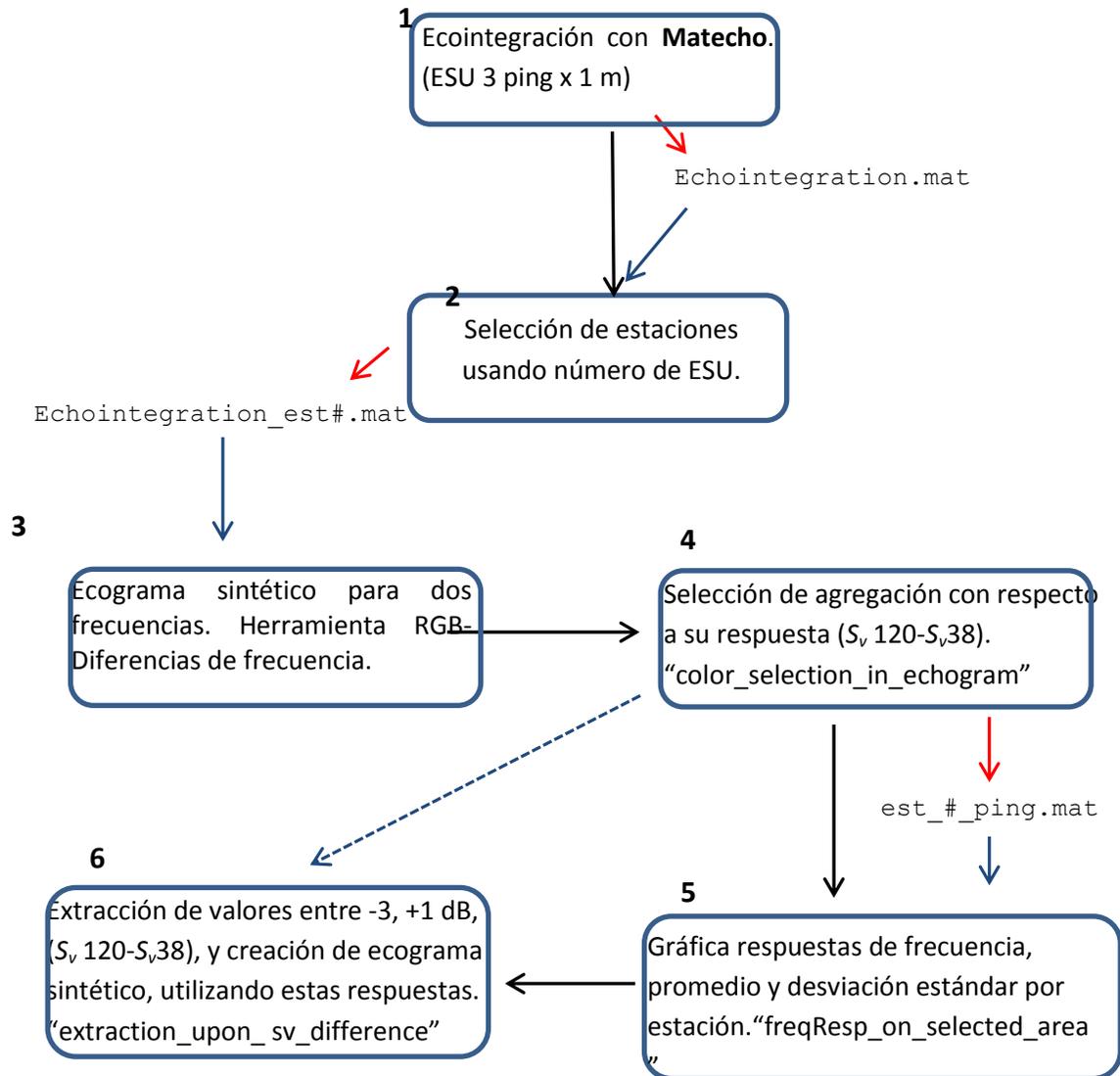


Figura 8. Síntesis del método utilizado en la separación de cardúmenes de calamar gigante realizado en Matlab. Flechas rojas: matrices de inicio, líneas azules: matrices finales.

6.2.1 Separación de agregaciones de calamar gigante

Se graficó la LM promedio por estación en relación a las diferencias en la frecuencia relativa con la finalidad de encontrar un intervalo en el que las agregaciones de calamar se pueden clasificar (Fig. 9). Siguiendo este método y basándonos en la respuesta de frecuencia como principal característica de los objetivos, se fijó un intervalo para dispersores con ΔS_v entre -3 y +1 dB. Este grupo corresponde a una zona donde la mayoría de la respuesta de frecuencia es plana. Posteriormente se reconstruyeron en ecogramas sintéticos para observar si las agregaciones con propiedades acústicas similares y que por pesca, tiempo y profundidad corresponden a calamar, se conservaban dentro de este intervalo.

Los archivos .raw de la campaña completa de calamar gigante de junio 2014 se procesaron de la misma manera que las estaciones de pesca (descrito arriba). Se eliminaron los transectos verticales recorridos por la embarcación, excepto el muestreo del Canal de Ballenas Salsipuedes, por no encontrar una mejor manera de muestrear esa área (Fig. 10). Se separaron los valores de S_v y S_a ($m^2 m^{-2}$) en el intervalo -3 y +1 dB. Con estos valores se calculó el S_A (NASC, $m^2 nmi^{-2}$) en 38 y 120 kHz según la ecuación: $S_A = 4\pi(1852)^2 s_a$ (Simmonds y MacLennan, 2005).

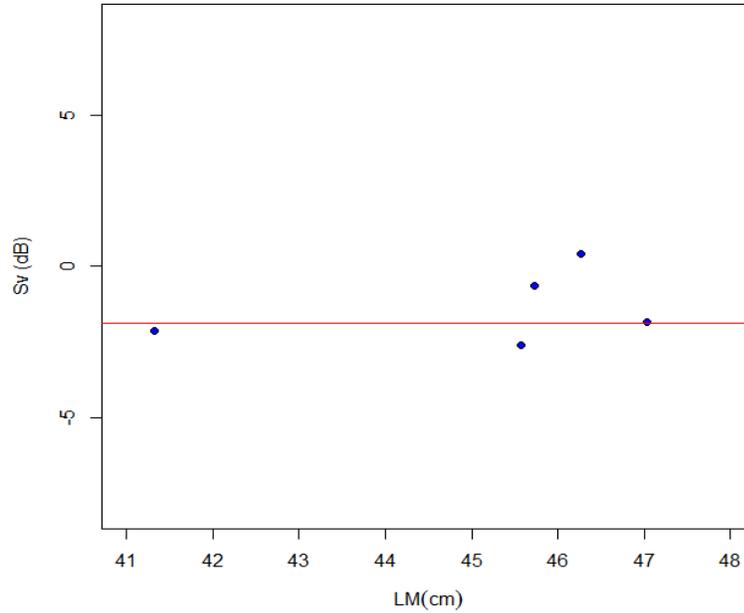


Figura 9. LM promedio por estación y la magnitud de la diferencia de S_v en dB entre las frecuencias: Sv 120-Sv38. Línea roja: Promedio de las diferencias entre Sv 120-Sv38 (Puntos azules).

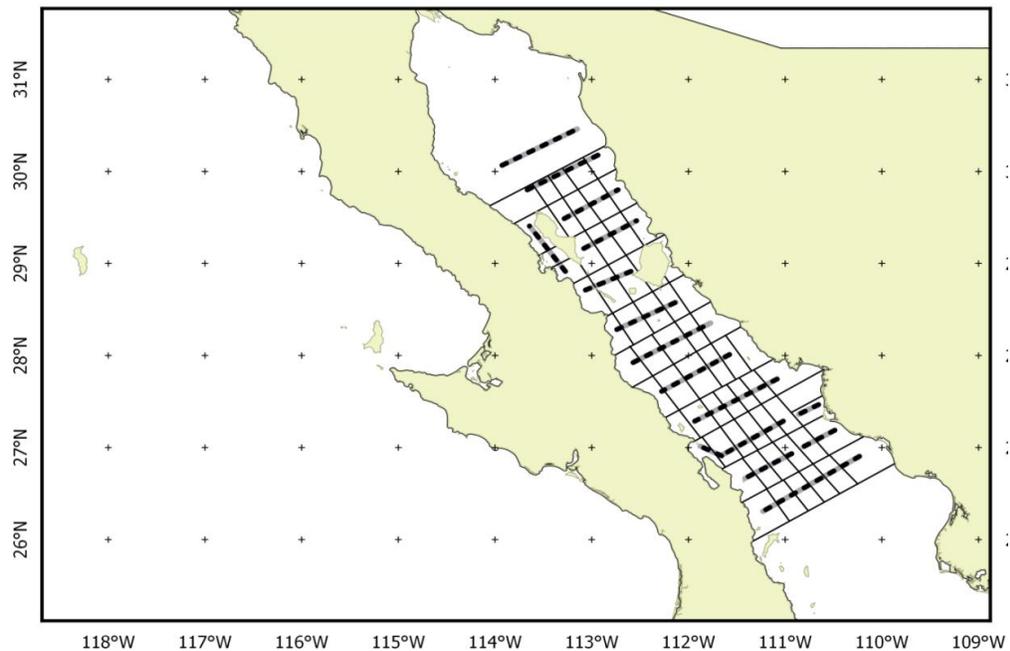


Figura 10. Partes del derrotero original que se utilizaron en la eointegración. Con respecto al derrotero anual, se descartaron los movimientos NW-SE cuya navegación fue vertical, excepto dentro del canal de ballenas Salsipuedes.

6.2.2. Estimación de biomasa

La biomasa se calculó utilizando el método de Maclellan *et al.* (2002) y Simmonds y Maclellan (2005). El valor de TS se estimó de acuerdo con la relación descrita en este trabajo para ambas frecuencias.

Para fines comparativos, se estimó con los valores reportados por Benoit-Bird *et al.* (2008).

$$TS_{38kHz} = 20 \log_{10}(LM) - 62$$

$$TS_{120kHz} = 20 \log_{10}(LM) - 67.9$$

Para las cuatro relaciones se utilizó la LM promedio de toda la campaña (39 cm). Los valores resultantes de TS se utilizaron después para calcular el coeficiente de retrodispersión de la sección transversal de un individuo, mediante la relación: $\sigma_{bs} = 10^{\left(\frac{TS}{10}\right)}$. La densidad de calamares expresada en número de individuos por unidad de superficie (mn^2) se obtuvo dividiendo el valor promedio del coeficiente de dispersión por milla náutica, según la fórmula: $\rho_a = \frac{\bar{S}_A}{4\pi\sigma_{bs}}$. La biomasa promedio se calculó multiplicando la densidad (ρ_a) por el peso promedio expresado en gramos utilizando la siguiente fórmula: $Bp = \rho_a w$. Para el cálculo del peso se utilizó la relación talla-peso de los organismos durante la temporada 2013-2014, $PT = 0.000007 * LM^{3.33}$ (Arizmendi- Rodríguez *et al.*, 2014). La biomasa total resultó de multiplicar la biomasa promedio por el área prospectada según la fórmula $B = Bp * A$, donde $A = 18,000 \text{ mn}^2$

Los valores de \bar{S}_A se utilizaron como un proxy de la biomasa relativa y se referenciaron en un mapa del área. Las estimaciones de biomasa estimadas por este método se compararon con otras estimaciones hechas con diferente metodología.

7. RESULTADOS

7.1. Relación *TS* vs *LM*

La información del muestreo masivo en cada una de las estaciones de pesca utilizadas en la extracción del valor promedio del *TS* se presentan en la figura 11. Los intervalos de tallas de los organismos capturados, la posición, la captura (en número y peso), así como la campaña y estación utilizados se presentan en la tabla III.

La distribución de *TS* total de blancos individuales provenientes de los ecotrazos seleccionados para calamar gigante en ambas frecuencias, se presentan en las figuras 12 y 13, respectivamente. En los datos se excluyeron los objetivos menores a -60 dB, para disminuir en lo posible las contribuciones de paralarvas, plancton, juveniles etc. Sin embargo, como era de esperarse, debido a la naturaleza de los datos, la varianza dentro de cada estación es muy grande y los resultados abarcan varios dB (lo que representa varios órdenes de magnitud) (Fig. 14). Los organismos más pequeños, provenientes de las estaciones 2016-E46 y 2016-E49, de 18.4 y 19.07 cm respectivamente, tienen una respuesta más alta en 38 que en 120 kHz de casi 8 dB. Sin que tengamos claras las razones de esta diferencia tan evidente, posteriormente la diferencia en los valores entre las dos frecuencias no es mayor a 4 dB, e incluso en las estaciones 2015-E45 y 2014-E24 el promedio es ligeramente mayor en 120 que en 38 kHz. La media de *TS* y *ML* promedio de calamar para las siete estaciones se proporcionan en la tabla IV.

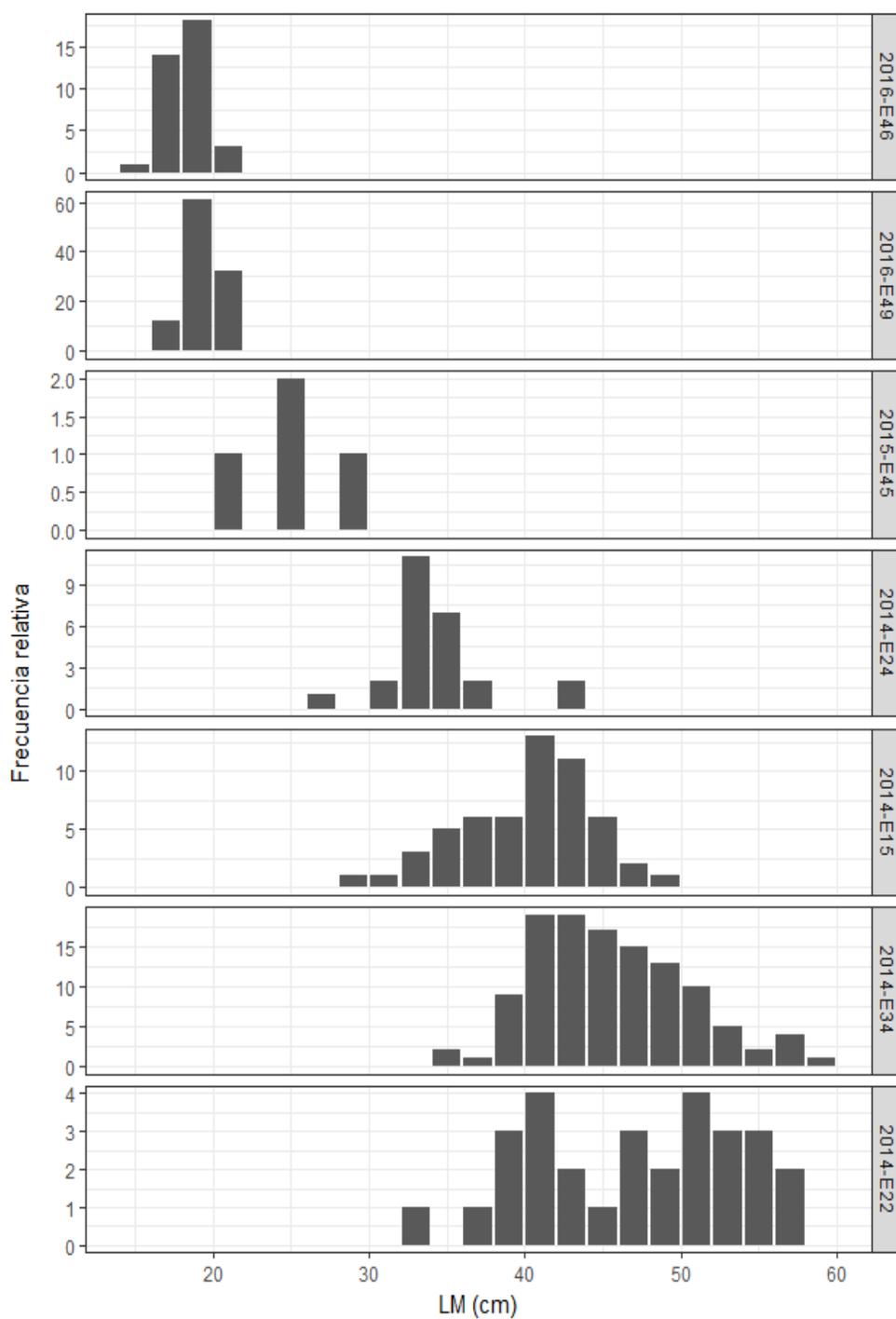


Figura 11. Distribuciones de longitud de manto (LM en cm) de calamar gigante a partir de los muestros masivos realizados durante las estaciones de pesca utilizadas en la extracción de valores individuales de fuerza de blanco (*TS*).

Tabla III. Capturas en número de individuos y peso (kg) de las estaciones de pesca de calamar gigante utilizadas en la extracción de valores individuales de fuerza de blanco (TS).

Campaña/ estación	Posición lat/long	Captura número	en	Captura peso (kg)	en	LM (en cm) Intervalo
062016-E46	26.95; -110.93	36		4.8		15-21
062016-E49	26.60; -110.62	105		17.4		17-21
072015-E45	29.60; -113.36	6		2.9		21-31
062014-E24	29.48; -113.62	57		69.3		27-43
062014-E15	30.01; -113.34	55		110		29-49
062014-E34	28.26; -112.72	146		389		35-59
062014-E22	30.05; -113.51	194		444		33-57

Tabla IV. Resultados por campaña, estación y frecuencia de insonificación sobre los valores de *TS* con respecto a su *LM* y número de ecos.

Campaña/ estación	Intervalo LM (cm)	LM promedio (en cm)	Frecuencia (kHz)	<i>TS</i> promedio (dB)	N_v	Número de ecos
2016-E46	15-21	18.4	38	-45.75	0.60	228
			120	-54.64	0.33	811
2016-E49	17-21	19.07	38	-45.78	0.65	247
			120	-51.43	0.53	255
2015-E45	21-31	26.9	38	-48.61	12.06	365
			120	-47.76	57.45	947
2014-E24	27-43	36.4	38	-42.6	1.29	112
			120	-50.33	0.26	482
2014-E15	29-49	42.3	38	-38.81	1.21	31
			120	-41.49	0.12	114
2014-E34	35-59	46.4	38	-39.59	1.03	129
			120	-39.74	0.99	211
2014-E22	33-57	47.8	38	-42.82	0.30	97
			120	-41.49	0.13	35

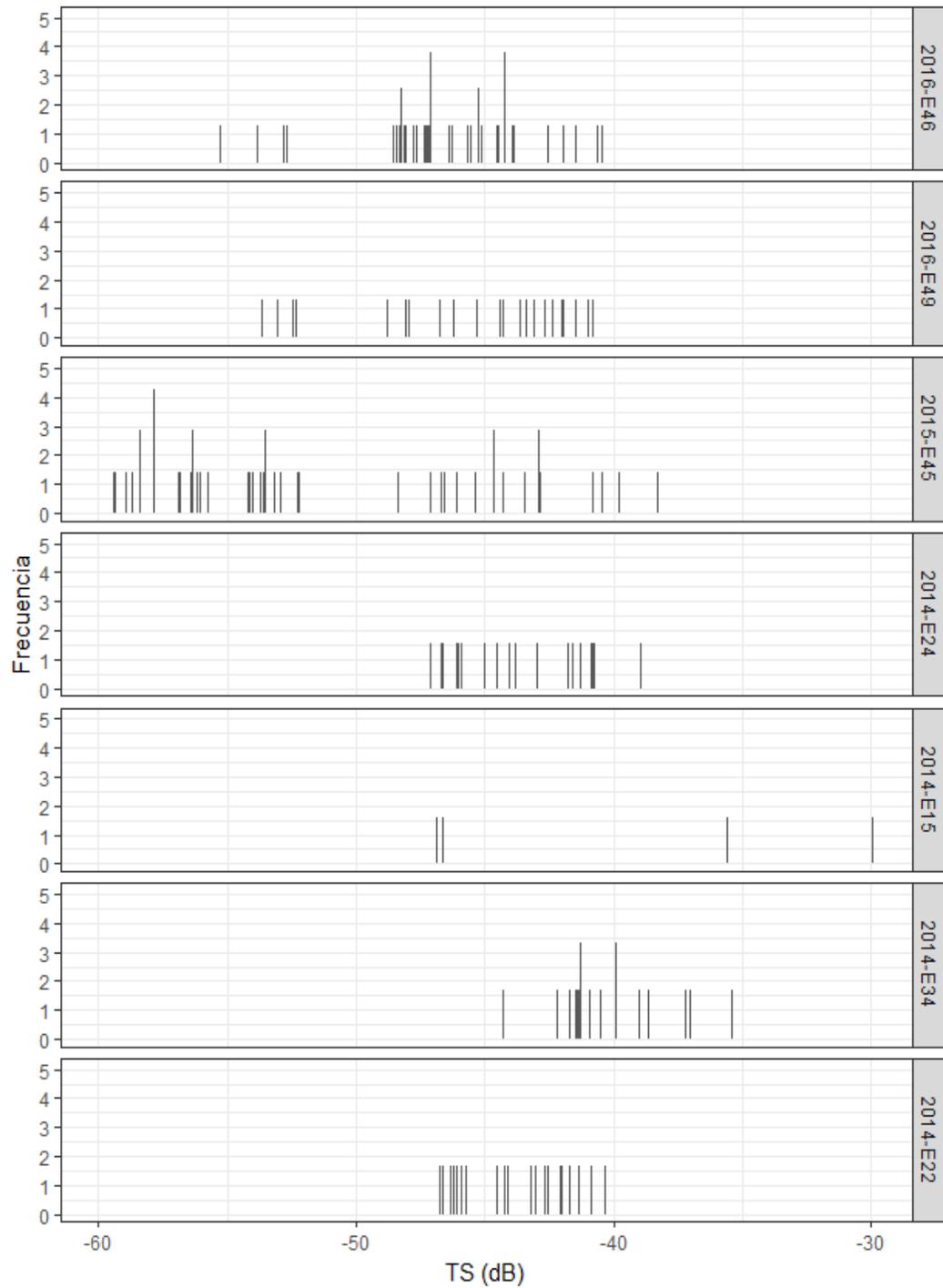


Figura 12. Distribución de ecos individuales por estación y por campaña, frecuencia de 38 kHz, hasta los 50 m.

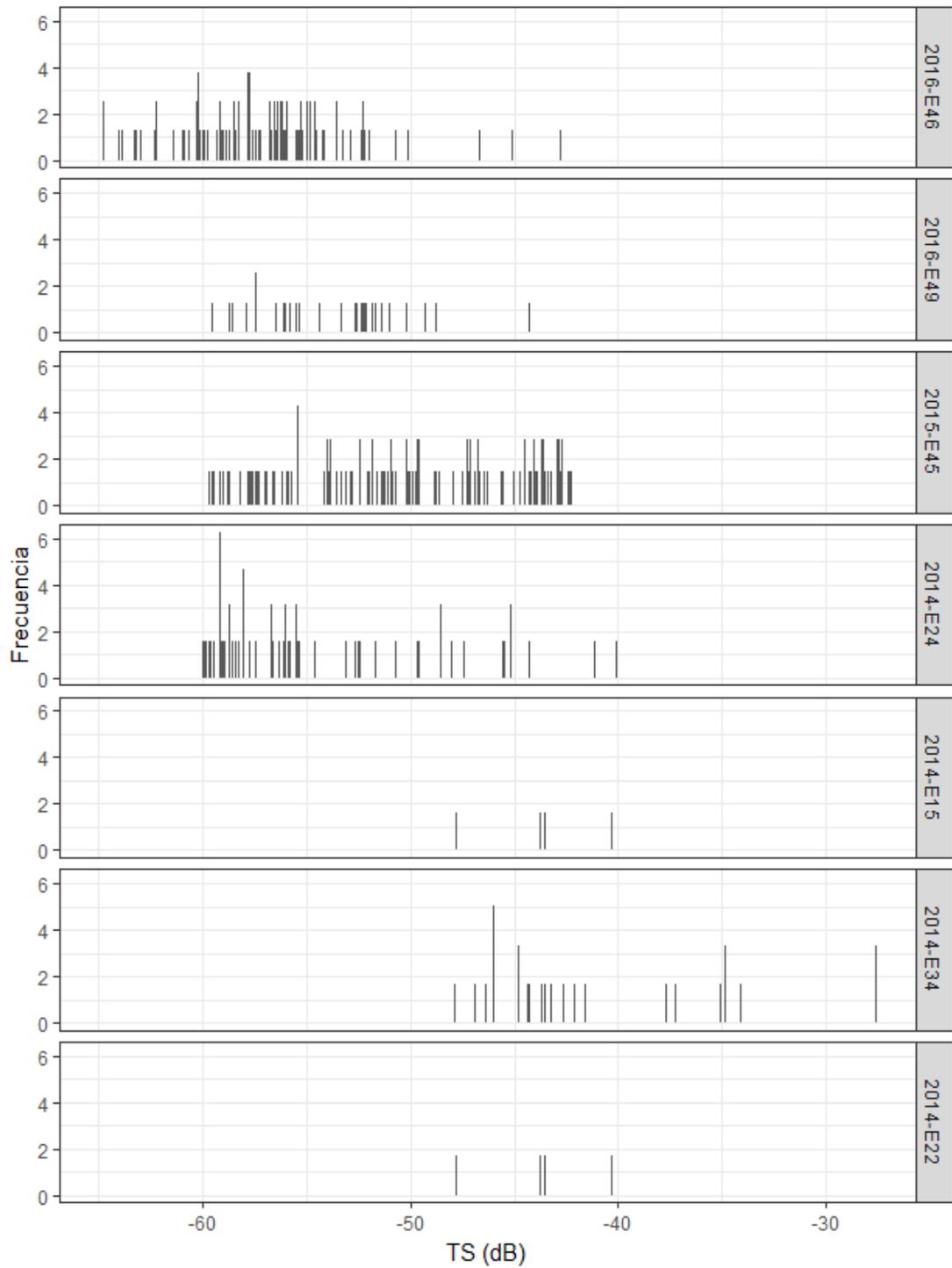


Figura 13. Distribución de ecos individuales (*TS*) en dB por estación y por campaña, frecuencia de 120 kHz, hasta los 50 m.

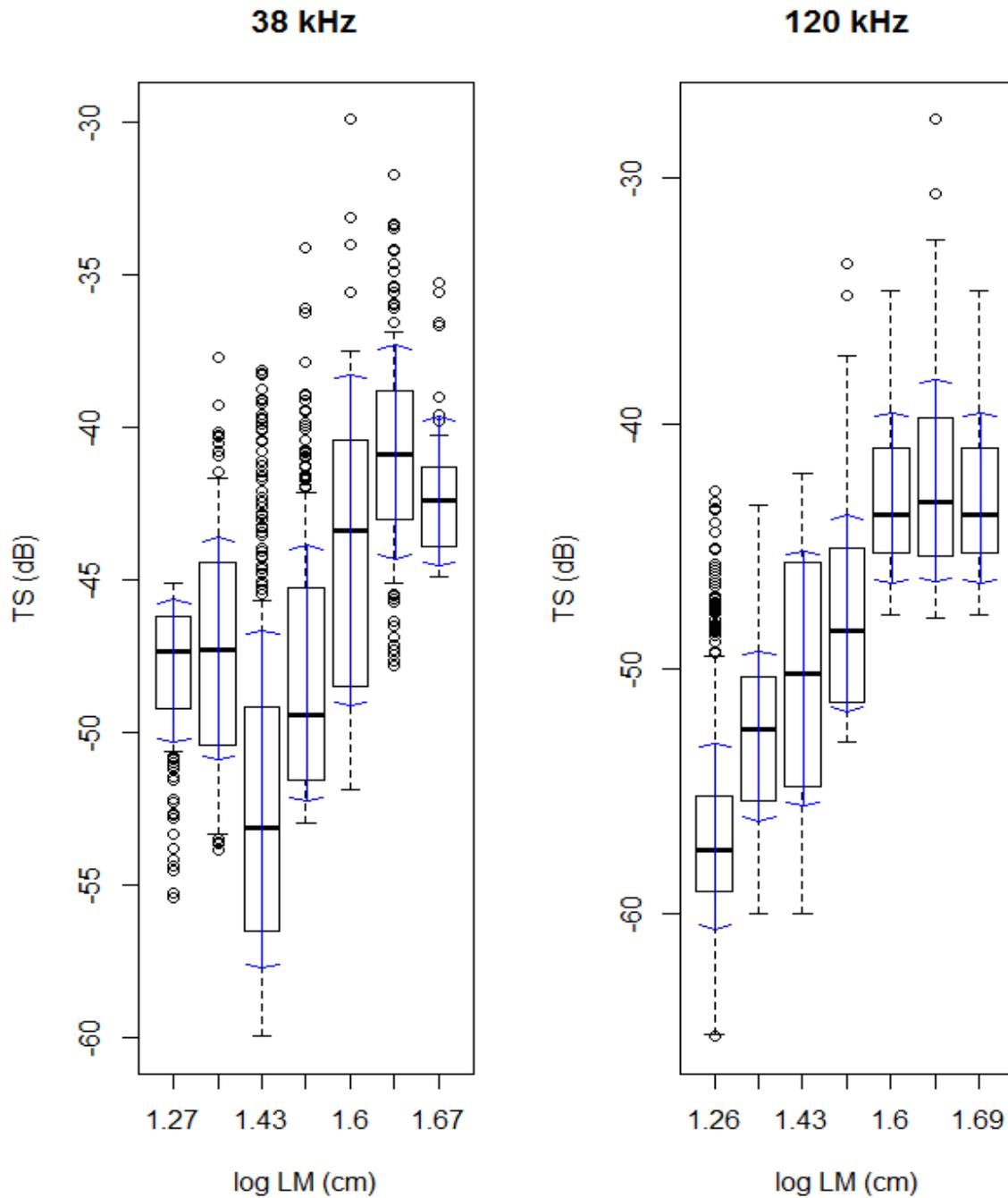


Figura 14 Visión general de la distribución de *TS* con respecto a la talla promedio. Caja, cuartiles del 25 al 75 %. Mediana, línea negra. Los círculos vacíos representan los datos atípicos. La desviación estándar representada por líneas azules.

7.2 Relación TS vs LM

Aunque las distribuciones de frecuencias de TS obtenidas a partir de los muestreos no fueron unimodales, en la relación entre la LM y la TS se consideró la media de las mediciones como el valor de TS por estación y por frecuencia (Tabla IV), ambas relaciones se presentan en la figura 17, para 38 y 120 kHz, respectivamente; y se describen mediante las siguientes ecuaciones:

$$TS_{38kHz} = 19.73 \log_{10}(LM) - 73.49 \quad R^2 = 0.62$$

$$TS_{120kHz} = 29.49 \log_{10}(LM) - 90.88 \quad R^2 = 0.74$$

Donde TS es la intensidad de la fuerza de blanco en la frecuencia que indica el subíndice, LM es la longitud del manto en centímetros, R^2 indica la proporción de varianza de los resultados que puede explicar el modelo, es decir, la calidad de este modelo al replicar los resultados con otros valores de LM . El error estándar y el valor de t calculado se encuentran en la tabla V. Se realizó una prueba F con 1 y 5 grados de libertad, en ambas frecuencias (38 y 120 kHz, en ese orden) para demostrar que los valores de las pendientes son significativamente diferentes de 0 ($p < 0.020$; $p < 0.007$, respectivamente) (Tabla V). Entre los residuos estandarizados y los valores ajustados de ambos modelos no se observa ningún patrón especial, por lo que la homocedasticidad y la linealidad resultan razonables en ambos casos (Figs. 15 b y 16 b).

Forzando la pendiente de las ecuaciones a 20, para sustituir las fórmulas anteriores por la fórmula estándar y típicamente más extendida de la relación $TS - LM$ del calamar, asumiendo b como b_{20} , éstas pueden ser descritas de la siguiente manera:

$$TS_{38kHz} = 20 \log_{10}(LM) - 73.92 \quad R^2 = 0.69$$

$$TS_{120kHz} = 20 \log_{10}(LM) - 76.59 \quad R^2 = 0.70$$

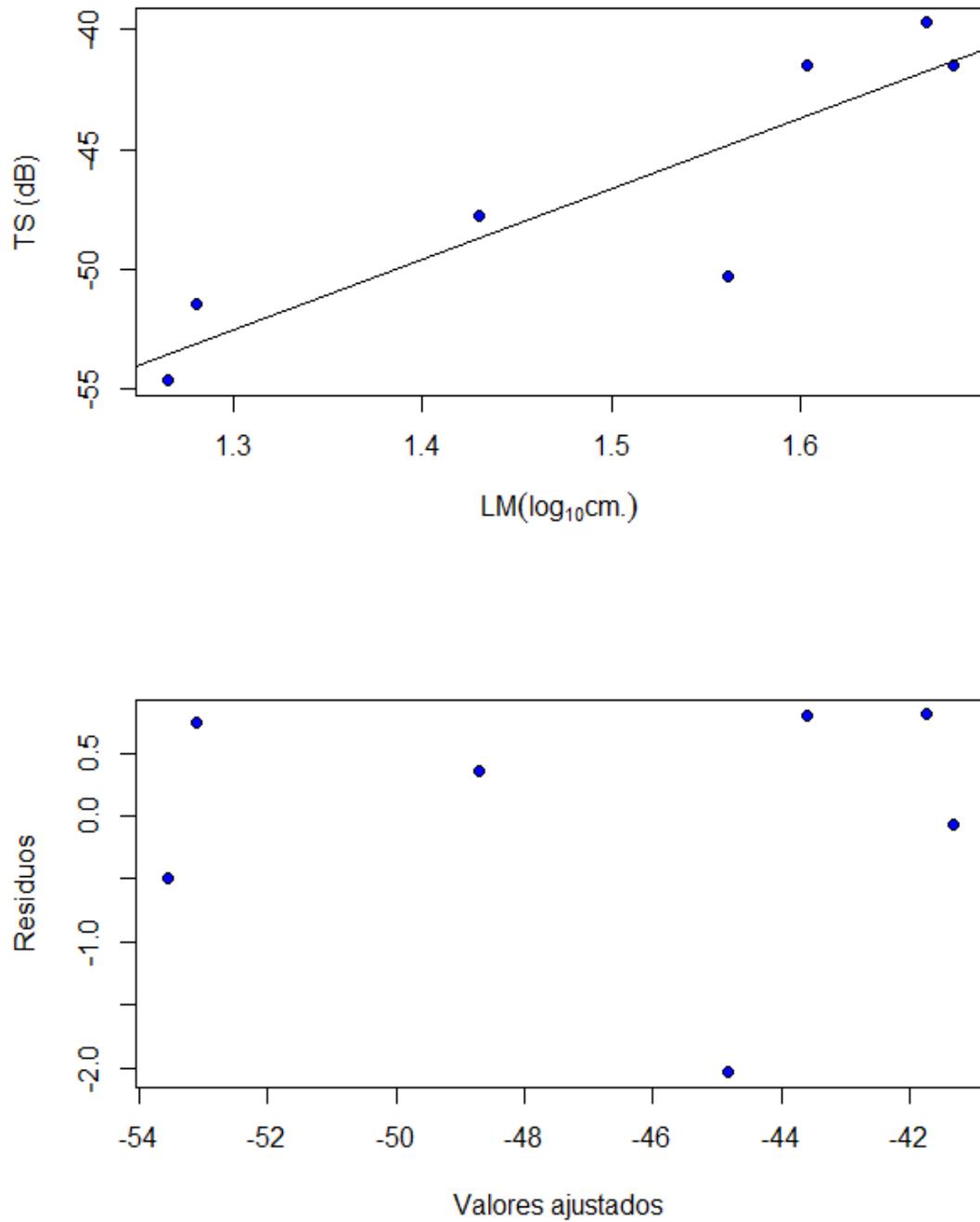


Figura 15. Modelo lineal y residuos estandarizados para la frecuencia de 38 kHz. a). Modelo de regresión lineal entre en la LM (en cm) y la *TS* (en dB), basada en promedios por estación. b) Representación de los residuos y valores ajustados.

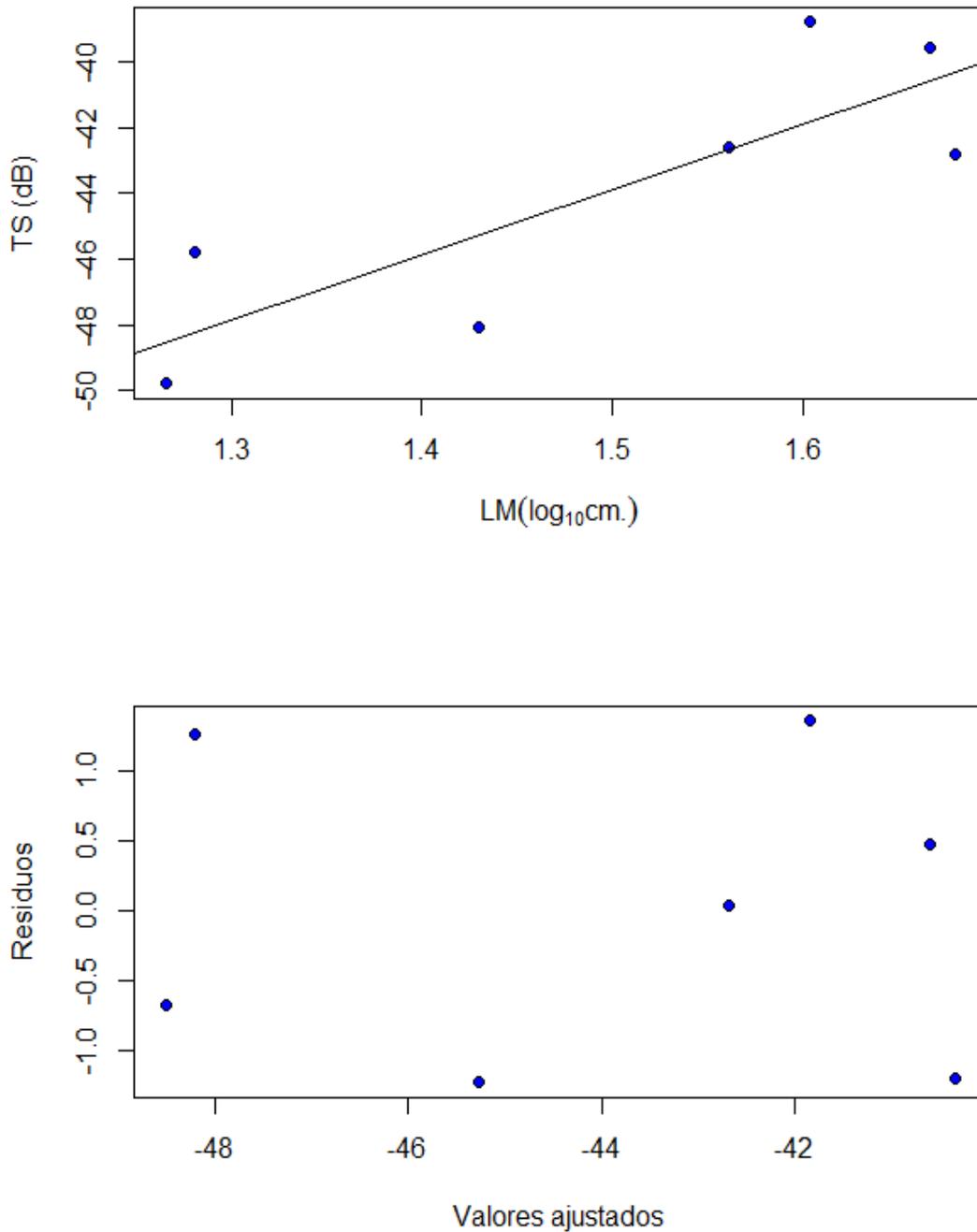


Figura 16. Modelo lineal y residuos estandarizados para la frecuencia de 38 kHz. a). Modelo de regresión lineal entre en la LM (en cm) y la TS (en dB), basada en promedios por estación. Frecuencia de 120 kHz. b) Representación de los residuos y valores ajustados.

Tabla V. Coeficientes del modelo lineal ($TS = m \log L + b$) para ambas frecuencias utilizadas (38 y 120 kHz).

Coeficiente	38 kHz	120kHz
Error estándar del intercepto	8.9	10.4
Error estándar de la pendiente	5.9	6.9
Valor de t del intercepto	-8.2	-8.7
Valor de t de la pendiente	3.3	4.27
Pr(> t) (intercepto)	0.0004	0.0003
Pr(> t) (pendiente)	0.02	0.007
Error estándar de los residuos (con 5 g.l)	2.52	2.95
R ²	R ² = 0.69, R ² ajustado= 0.62	R ² = 0.78 R ² ajustado= 0.74
Prueba F (1, 5 g.l)	11.16, p = 0.020	18.26, p = 0.007

En la figura 17 a) y b) se presenta el modelo lineal para cada frecuencia (38 y 120 kHz, respectivamente) ajustado en este estudio a partir de los valores de LM descritos anteriormente, y se compara con tres modelos más por cada frecuencia. Estos modelos han sido publicados para calamar gigante (*Dosidicus gigas*) por Benoit-Bird *et al.* (2008), calamar del pacífico (*Todarodes pacificus*) por Kawabata (2005) y Kang *et al.* (2005); y calamar púrpura (*Sthenoteuthis oualaniensis*) por Zhang *et al.* (2015). En la gráfica los modelos se reconstruyen con los valores predichos con sus respectivas ecuaciones para los valores de LM de la figura 11.

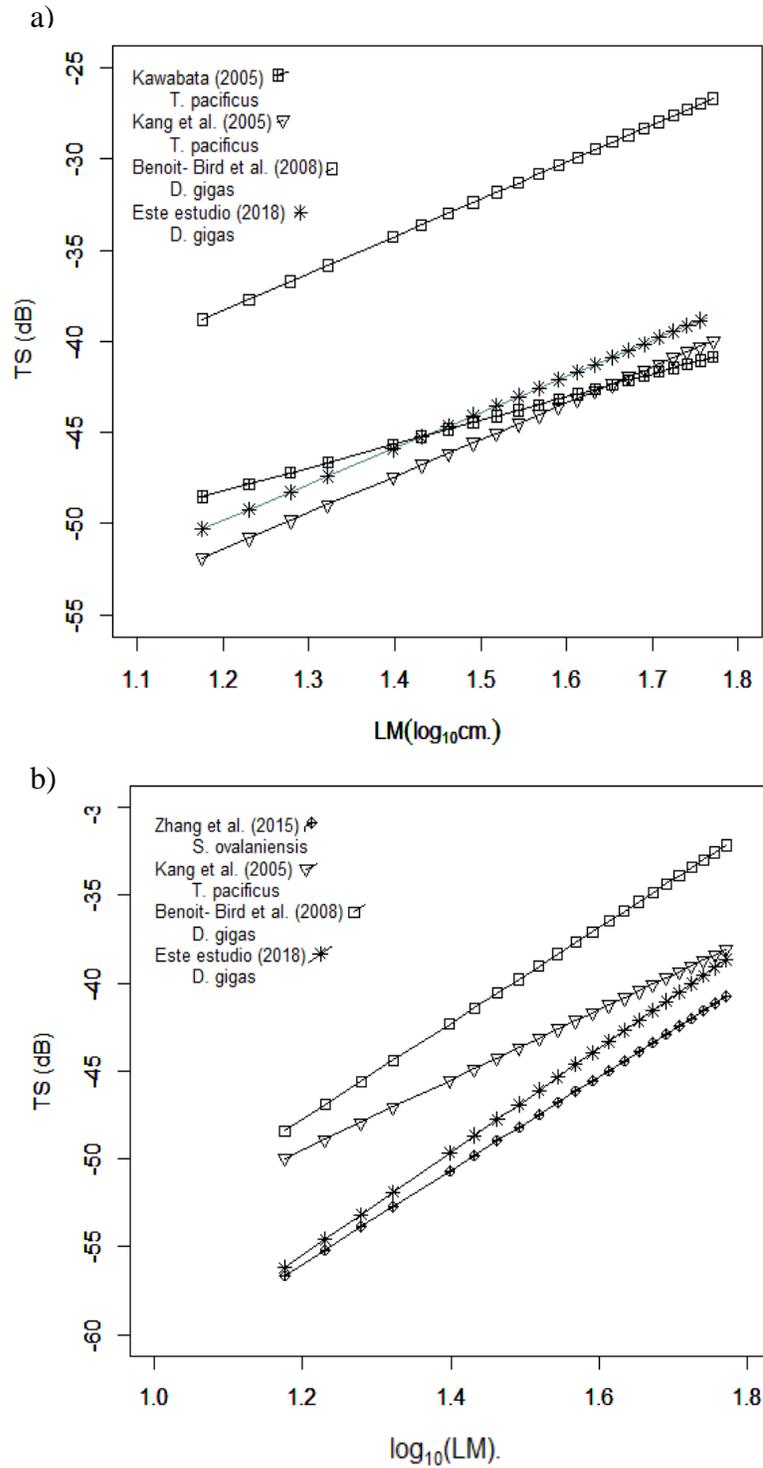


Figura 17. Modelos lineales con pendiente de 20. a) y b) Modelos de relación lineal con la fórmula estándar y típicamente más extendida, expresados en términos de la longitud del cuerpo; publicados por diferentes autores para las frecuencias 38 y 120 kHz, respectivamente.

7.3 Identificación y caracterización de agregaciones

Se utilizaron seis estaciones de pesca de las campañas realizadas dentro del Golfo de California, durante junio de 2013 y 2014 a bordo del barco de investigación pesquera BIP-XI, propiedad del INAPESCA (el método de muestreo se expone arriba). La selección de estaciones se hizo priorizando la captura en número y/o peso. Algunas estaciones con poca o nula captura también se procesaron con fines comparativos. Las estaciones donde se observaron cardúmenes pelágicos, delfines, peces voladores, o cualquier otro grupo de organismos en superficie fueron eliminadas. Los detalles de las estaciones se describen en la tabla VI.

Tabla VI. Detalles del muestreo en las estaciones de pesca de calamar gigante empleadas para la identificación y caracterización de sus agregaciones acústicas.

Estación (número y fecha)	Captura total (k)	Talla promedio (cm)	Profundidad de captura	Tiempo efectivo de pesca
25 -29 05 2014-	887	47.2	3-50	30
26 -30 05 2014-	536	46.5	3-50	30
27 -30 05 2014-	146	47.3	3-80	30
34 -31 05 2014-	154	46.4	3-40	45
15 -27 05 2014-	165	42.3	3-60	30
22 -28 05 2014-	531	47.8	3-50	30

Los ecogramas sintéticos contruidos a partir de la respuesta de frecuencia relativa (en dos frecuencias acústicas, 38 y 120 kHz) como principal característica acústica utilizada para separar las agregaciones de calamar gigante nos permitió acotar un intervalo mínimo en -3, +1 dB, mayor a 120 kHz que a 38 kHz. Este intervalo conserva los volúmenes de las agregaciones que por profundidad, tiempo y pesca corresponden a calamar gigante (Figs. 18 y 19) pero al cerrarlo más, éstas desaparecen (Anexos E al G).

Éstos fueron los dos principales tipos de agregaciones: grupos muy densos y grupos más sueltos que se separan de los grupos densos; este tipo de agregación fue el mayor blanco de las poteras, debido a que estaban menos profundos y ubicados en la penumbra de la embarcación desde donde atacaron las poteras, luego se retiraban manteniendo una estructura agregada para volver unos minutos después a ubicarse en el mismo sitio, entonces continuaba la pesca. Estos eventos los mantenían compactados en el mismo lugar.

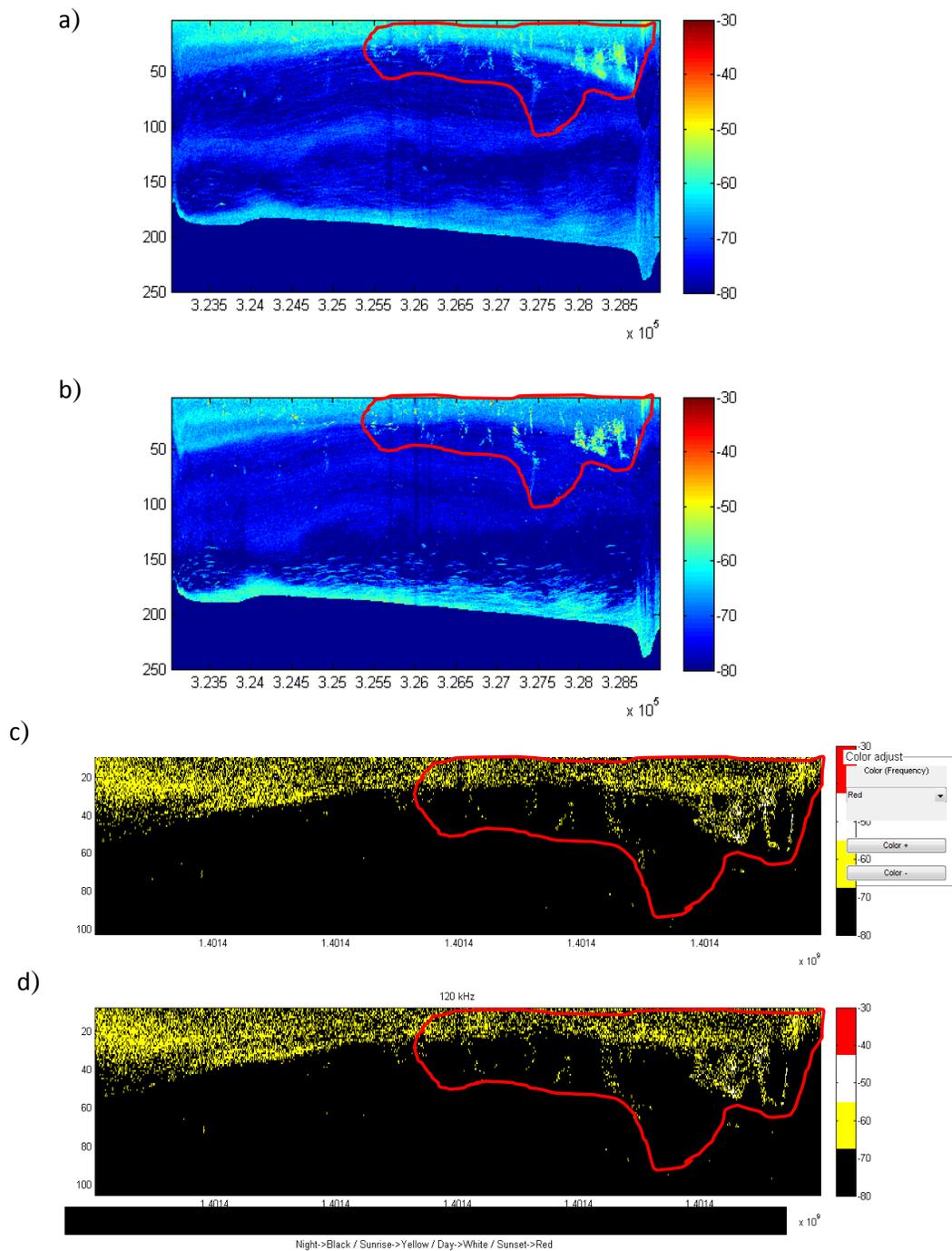


Figura 18. Estación 26, fecha: 30-05-2014. a) y b) S_v de ecogramas originales 38 y 120 kHz, respectivamente; c) y d) Extracción de dispersores con ΔS_v en un intervalo de -3 y +1 dB, 38 y 120 kHz, respectivamente. Zonas en rojo: capturas de calamar por tiempo y profundidad.

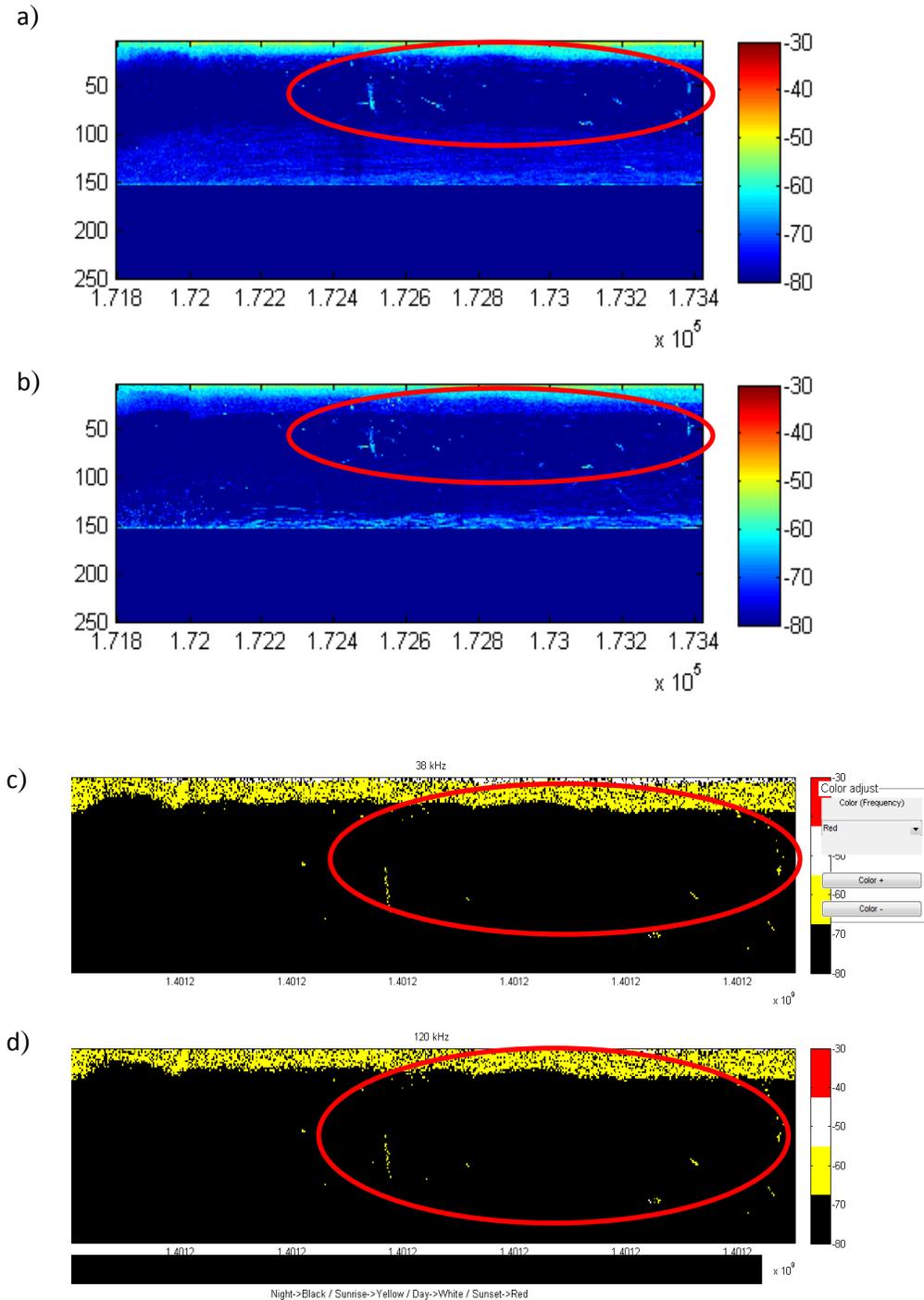


Figura 19. Estación 15, fecha: 27-05-2014. a) y b) S_v de ecogramas originales 38 y 120 kHz, respectivamente; c) y d) Extracción de dispersores con ΔS_v en intervalo de -3 y +1 dB, 38 y 120 kHz, respectivamente. Zonas en rojo: capturas de calamar por tiempo y profundidad.

Con respecto a los valores de s_A obtenidos por eointegración en la capa más superficial (3-30 m), en el área centro-norte y el Canal de Ballenas Salsipuedes se presentaron los más altos ($5,685\sim 6,284\text{ m}^2/\text{nm}^2$); después podemos ver valores altos en el centro-sur del área de estudio ($3,291\sim 4,488\text{ m}^2/\text{nm}^2$). Esto coincide con la distribución de las mayores capturas durante la campaña (de 100 a 900 k): frente a El Desemboque de Arriba, Puerto Lobos y Puerto Libertad en la costa de Sonora, y en el Canal de Ballenas Salsipuedes y frente a la Bahía de San Luis Gonzaga en la costa de Baja California (Fig. 20). En el sur del área de estudio, donde se presentan los valores más bajos de s_A para esa capa, las capturas estuvieron compuestas por organismos que exhibían una moda de alrededor de 19 cm (más pequeña que el resto del Golfo, que fue de 39 cm) y las capturas no fueron abundantes en peso ($0.075\sim 50\text{ kg}$) pero en número fue muy semejante al resto de las áreas. Hacia las capas de 31 a 60 m y 61 a 90 m de profundidad las mayores abundancias se ubican casi exactamente en el centro del Golfo (espacio que comprende aproximadamente dos estaciones) y en el centro-sur, cabe señalar que estas altas abundancias se conservan desde la capa superficial, pero aumentan su densidad fuera del alcance de las poteras, lo que coincide con el tipo de agregaciones observadas en los ecogramas sintéticos (Fig. 18) y la captura moderada, de entre 10 y 50 kg en las seis estaciones que comprenden esos espacios. En la capa siguiente, 91 a 110 m de profundidad, ésta tendencia ya no se observa. En general a esta profundidad prácticamente todo el Golfo tiene valores más bajos de s_A (Figs. 21 a 24).

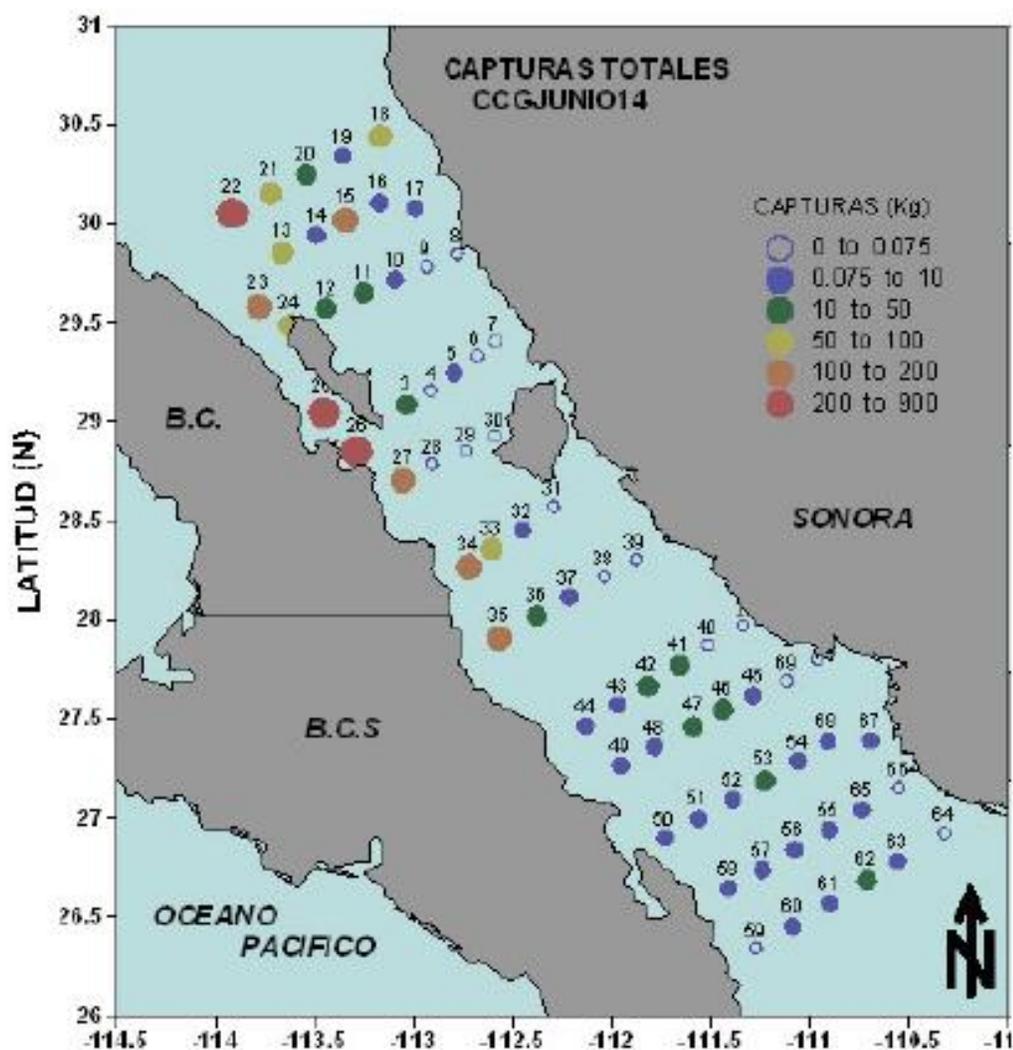


Figura 20. Distribución espacial de las capturas totales durante el crucero de prospección acústica de calamar gigante realizado en junio de 2014. Tomado de Arizmendi-Rodríguez *et al.* (2014).

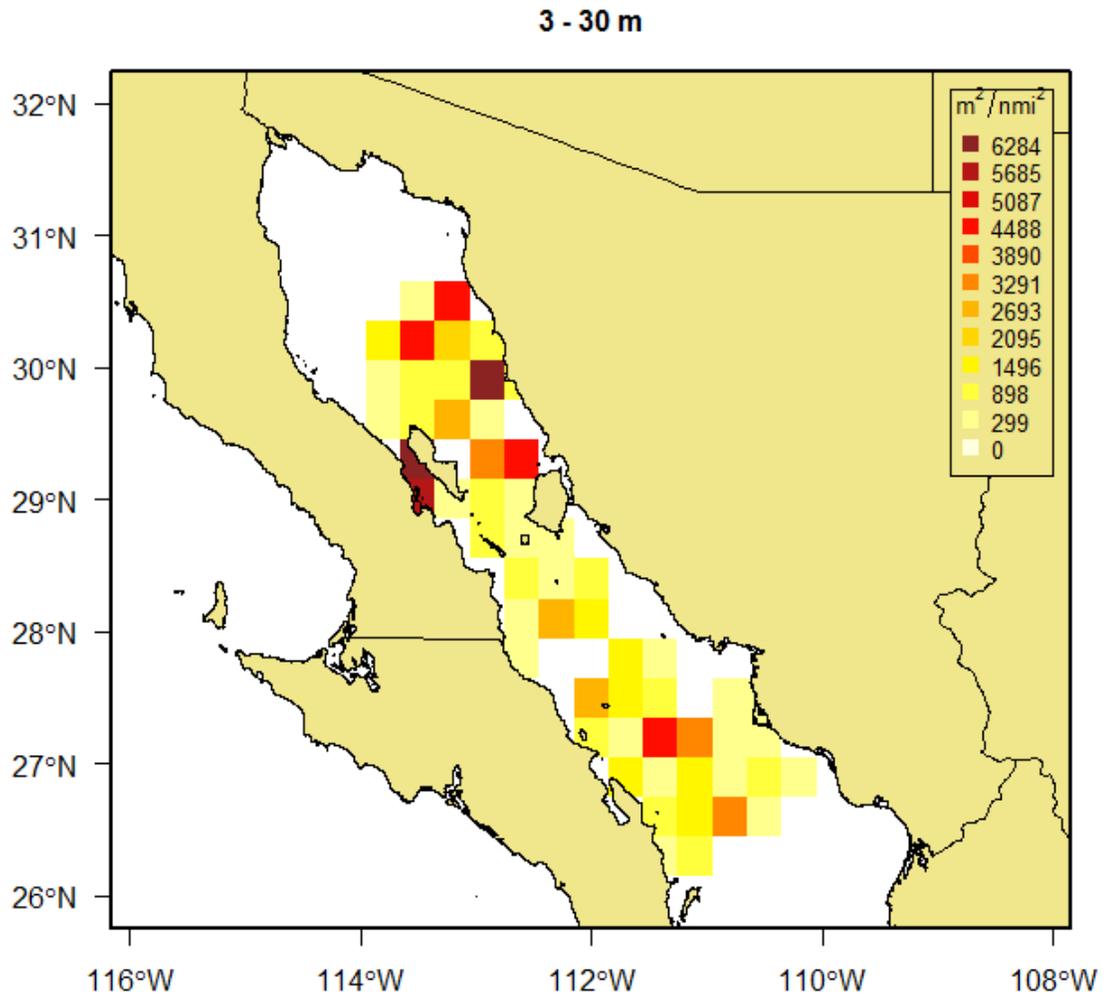


Figura 21. Distribución del s_A (m^2/nmi^2) asociado al intervalo ΔS_v entre -3 y +1 dB. (120-38 kHz), en el Golfo de California, durante junio de 2014. Valores promedio por coordenada de los 3 a los 30 m.

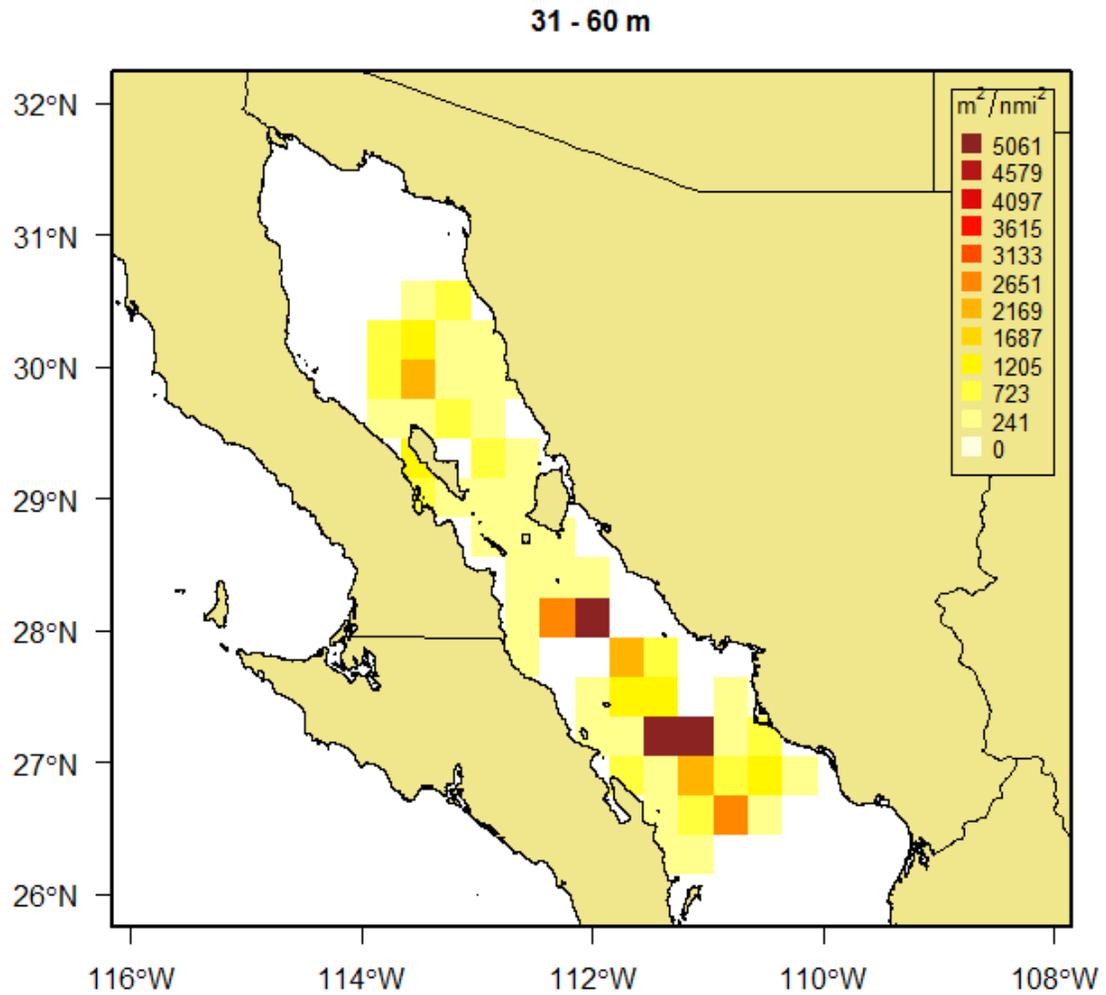


Figura 22. Distribución del s_A (m^2/nm^2) asociado al intervalo ΔS_V entre -3 y +1. dB (120-38 kHz), en el Golfo de California, durante junio de 2014. Valores promedio por coordenada de los 31 a los 60 m.

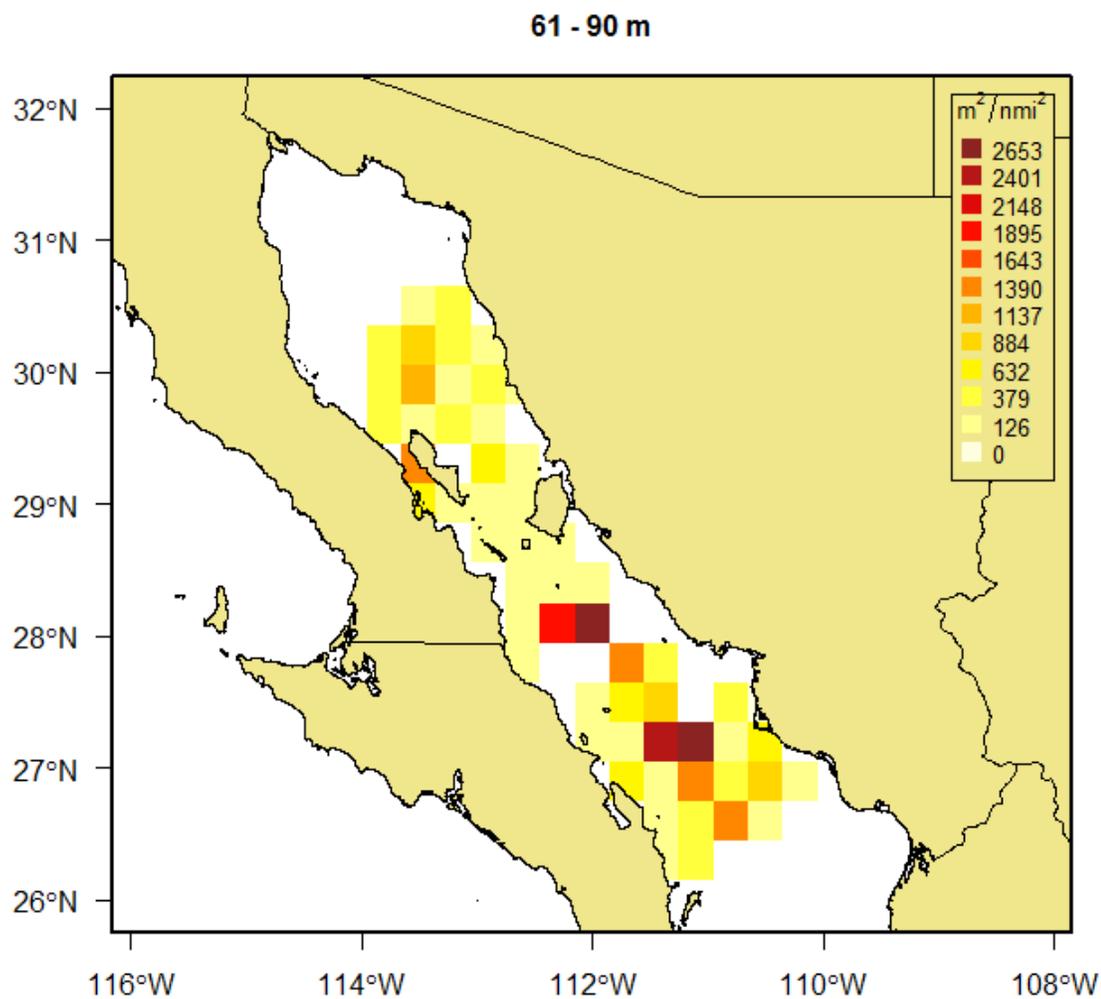


Figura 23. Distribución del s_A (m^2/nmi^2) asociado al intervalo ΔS_v entre -3 y +1 dB (120-38 kHz), en el Golfo de California, durante junio de 2014. Valores promedio por coordenada de los 61 a los 90 m.

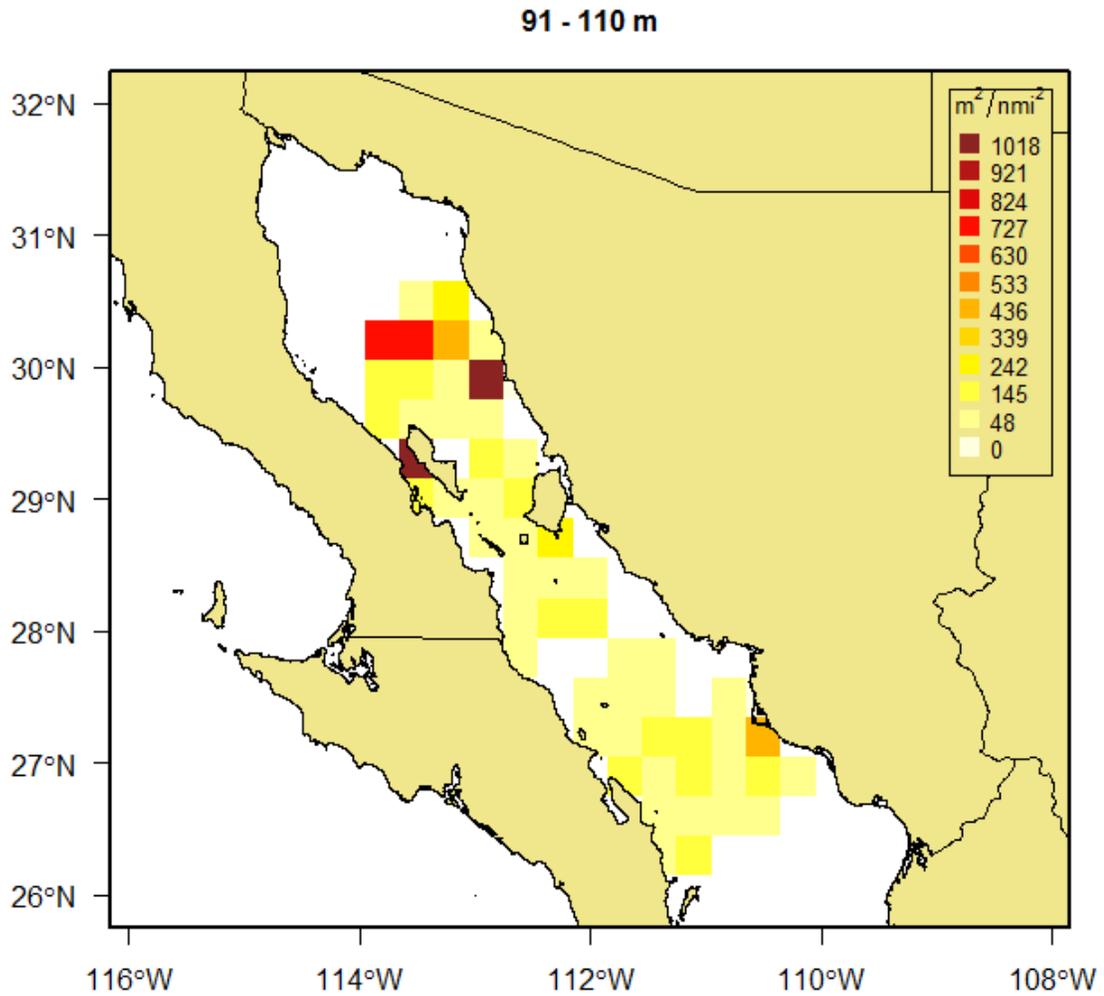


Figura 24. Distribución del s_A (m^2/nmi^2) asociado al intervalo ΔS_v entre -3 y +1 dB (120-38 kHz), en el Golfo de California, durante junio de 2014. Valores promedio por coordenada de los 91 a los 110 m.

7.4 Estimación de biomasa

En 2014 el calamar gigante tuvo una talla promedio de 39 cm de LM y un peso promedio de 1.39 kg. Durante la campaña se realizaron un total de 69 estaciones de pesca, en 51 estaciones la captura fue positiva. Las estaciones sin captura estuvieron principalmente en el sur del litoral de Sonora, y los organismos más grandes fueron capturados en la zona norte del litoral de BCN. Los organismos con tallas inferiores a los 20 cm LM se capturaron en la región centro y sur del Golfo de California. Utilizando la ecuación descrita en este trabajo se estimó una biomasa entre 67,042 y 94,130 t. Mientras que utilizando la ecuación publicada por Benoit-Bird *et al.* (2008), el resultado es hasta 7 y 15 veces menor, para las de 120 y 38 kHz, respectivamente (Tabla VII).

Tabla VII. Biomasa calculada de calamar gigante (*Dosidicus gigas*), durante la primavera de 2014 en Golfo de California, México.

Ecuación (b_{20})	TS	Individuos por área	Biomasa promedio (t)	Biomasa (t)
TS_{120kHz} Este trabajo	-44.76	37,593	5.23	94,130
TS_{120kHz} Benoit-Bird <i>et al.</i> , (2008)	-36.07	5,083	0.70	12,727
TS_{38kHz} Este trabajo	-42.09	26,775.07	3.72	67,041.9
TS_{38kHz} Benoit-Bird <i>et al.</i> , (2008)	-30.17	1,720.801	0.23	4,308.7

8. DISCUSIÓN

Los resultados principales del trabajo de investigación se discuten en tres secciones. Inicialmente se abordan los aspectos que refieren a los valores de *TS* y el modelo de regresión lineal, después la validez de nuestro método para la separación de agregaciones de calamar, finalmente se comparan las estimaciones de biomasa de calamar gigante de este estudio con otras hechas con otros métodos.

8.1 Sobre el modelo de regresión lineal y las mediciones de *TS*

Para lograr aplicar los métodos de la acústica pesquera en estimaciones de abundancia de cualquier especie la primera condición es contar con un factor de escala que represente lo mejor posible las propiedades de reflexión acústica de los organismos a evaluar (MacLennan, 1990; Zhang *et al.*, 2015). Este valor es de una naturaleza estocástica incluso para un mismo organismo (Simmons y MacLennan, 2005), por lo que el amplio rango de los valores de *TS* presentados en este trabajo no se considera extraño con respecto a otros ejercicios (Benoit-Bird *et al.*, 2008; Kawabata, 2005; Khang *et al.*, 2004; Zhang *et al.*, 2015). Aunque en general se entiende que la dispersión de calamar es dominada por la composición fluida de su cuerpo (los músculos) con propiedades materiales muy cercanas al agua de mar (Iida *et al.*, 2006; Kang *et al.*, 2006; Lee *et al.*, 2012), en experimentos *in situ* efectuados con animales vivos, la variabilidad en las mediciones es incrementada por múltiples factores, principalmente la orientación y el ángulo de inclinación de los organismos con respecto al cono de insonificación (representado por la penumbra del barco) del equipo acústico (Arnaya *et al.*, 1989; Arnaya y Sano, 1990; Hazen y Horne 2003; Kajiwara *et al.*, 1990; Starr y Thorne, 1987), ya que cuando los calamares exhiben un comportamiento de caza, adoptan varios ángulos de inclinación y cuando el cardumen entra y sale del cono de insonificación, los organismos contraen y relajan la pared del manto para propulsarse, lo que forma en su cuerpo superficies muy diferentes, que da como resultado una amplia gama de *TS* medias (Starr y Thorne, 1998). Asimismo, la variabilidad en las mediciones también es incrementada por profundidad a la que se toma la muestra y el estado fisiológico del organismo (Ona, 1990); la influencia que cualquiera de estos factores

tiene sobre los resultados de *TS* y el modelo presentado en este trabajo, no pueden separarse de la influencia de los otros (Hazen y Horne, 2003), por lo que el conjunto de factores físicos tendrá sesgos positivos o negativos que no se contemplan aquí más allá de su discusión teórica, identificar la importancia relativa de estos factores en los resultados no es el objetivo de esta investigación, sin embargo, se sugiere que en trabajos futuros sea considerada a profundidad. El factor principal del modelo de regresión es la longitud de manto (LM) como variable independiente, basándonos en la aportación de las mediciones en una amplia distribución de tallas que ayudan al ajuste del modelo, lo cual es una contribución con respecto a otros trabajos publicados (Tabla VIII), con la finalidad de validar la información proveniente de la eointegración en las campañas acústicas enfocadas a este recurso.

Con respecto al muestreo biológico, se difiere con lo publicado por Cheng *et al.* (2013), quienes afirman que las poteras no permiten la representación completa de la distribución de tallas de calamar, por lo que no deberían ser utilizadas como método de muestreo en esta clase de experimentos. En ese sentido, es importante señalar que los calamares se agregan en cardúmenes con tamaños uniformes, por lo que no es frecuente encontrar organismos pequeños en un mismo cardumen con organismos medianos o grandes, ya que esta especie exhibe canibalismo (Markaida, 2001). La faena de pesca hecha con seis poteras manuales de tres tamaños diferentes hasta los 40 m nos proporcionó la estructura de tallas completa por estación (Fig. 11), siendo que una vez aboyados por el estímulo generado por la luz de la embarcación, la densidad del calamar disminuye con la profundidad (Benoit-Bird *et al.*, 2008; Zhang *et al.*, 2015) y con esto la distribución vertical de las mediciones. Esto es un buen método de obtención de la estructura completa de la población.

La luz artificial antes y durante la faena de pesca genera un estímulo que atrae a los calamares hacia la superficie, esta luz tiene una zona de influencia de 35.3 m a la redonda del barco (Nevárez-Martínez *et al.*, 2000), esto produce una penumbra debajo de la embarcación, que según el método de caza del calamar gigante, es aprovechada por los cardúmenes que se agazapan por debajo de la embarcación (Nevárez-Martínez *et al.*, 2000), lo que los ubica directamente en el cono del haz, desde donde el cardumen mantiene un

comportamiento esquivo y ataca las poteras; debido a este comportamiento, es difícil determinar el número de organismos que conformaron los cardúmenes, ya que durante la estación los animales entran y salen del cono de insonificación más de una vez por lo que las mediciones posiblemente se refieren más de una vez al mismo organismo, sin que podamos asegurarlo.

Es importante mencionar que el estímulo que la luz artificial tiene sobre otros organismos mientras se realiza la faena de pesca, puede provocar contaminación en el muestreo acústico, porque sus ecos no pueden ser eliminados; sea el caso poco frecuente de aquellas estaciones donde se pudieron verificar otras especies cerca del barco, principalmente peces de las familias *Exocetidae* y *Clupeidae*, las cuales se agregan mayormente en la zona iluminada alrededor del barco, muy cerca de la superficie, quedando fuera del muestreo de la ecosonda. Sin embargo, en esta investigación, uno de los criterios para elegir las estaciones muestreadas fue la nula observación de otras especies en la superficie, de otro modo este tipo de contaminación ocasionaría un ligero sesgo a la derecha de la media en la curva del valor de *TS* en esa estación. Más importante para este trabajo, es la asimilación por contaminación del *TS* de otros organismos y pequeños peces en el cálculo del valor medio, que podrían crear un sesgo negativo; esto es una explicación consistente para las estaciones 072015-E45 y 062014-E24 (en 38 kHz), que presentan un valor promedio de *TS* por debajo de la media entre sus dos estaciones más próximas, mientras que en la frecuencia de 120 kHz se refleja como una amplia varianza en esas estaciones. Así mismo, existe un grupo de observaciones por arriba del segundo cuartil (en 38 kHz) que se desconoce su origen y que probablemente corresponden a calamar. Esto no puede ser descartado, al tener muy pocos organismos en nado activo durante la estación 072015-E45 (la pesca fue de 6 organismos) las contribuciones por macrozoplanton, micronecton, o pequeños peces, pudieron reflejarse en las mediciones, dando por resultado un sesgo hacia la izquierda de la media en los valores de *TS* recorriendo el valor hacia un número menor; esto está documentado en otros experimentos donde se ha encontrado que los ecos diseminados de estos organismos nocturnos hacen difícil la interpretación posterior de los datos (Lipinski y Soule, 2007; Soule *et al.*, 2010), pero debido a que la faena de pesca del

calamar gigante es nocturna, eso es una variable que sale de nuestro control. Con respecto a la estación 062014-E22, se sabe que la ubicación ideal de un experimento *in situ* debe contener una única especie en una distribución unimodal estrecha y de no ser así, según la experiencia de Parkinson *et al.* (1994) con peces, es necesario una diferencia de tamaño de aproximadamente un factor de 2 para separar dos modas en la distribución de *TS*, en caso que ambas modas sean de tamaño igualmente abundante, por lo que suponemos que las dos modas de LM traslapadas que presenta esta estación repercutió en el valor promedio de *TS*: no separándose demasiado del promedio de la estación anterior (con la que comparte intervalos de talla) e incluso siendo más bajo.

En el modelo de *TS-LM*, en su versión forzada a pendiente 20 tiene una diferencia en b_{20} hasta 12 dB menor con respecto al modelo publicado por Benoit-Bird *et al.* (2008) (en ambas frecuencias). Para esta misma especie Villalobos *et al.* (2013) obtuvieron una diferencia de 6 y 11 dB menor para 38 y 120 kHz respectivamente, Avilés-Díaz (2010) y Robinson *et al.* (2014) obtuvieron una diferencia de 8 ~ 11 y 6 dB respectivamente en la frecuencia de 120 kHz que lo calculado con la ecuación de Benoit-Bird *et al.* (2008). Nuestros modelos encuentran mayor semejanza a los publicados para otras especies de calamar (Kawabata., 2005; Khang *et al.*, 2004; Zhang *et al.*, 2015). En la tabla VIII se muestran otras relaciones publicadas de la *TS* - *LM* con pendiente de 20 en las mismas frecuencias con que se llevó a cabo este estudio. En este trabajo, la distribución de tallas es más amplia, abarcando más intervalos que otros, pero al tener todos la misma pendiente (representan una relación con el cuadrado de la longitud del manto del calamar), pueden ser comparadas.

Tabla VIII. Valor del intercepto (b_{20}) en las relaciones de TS - LM publicadas con pendiente de 20 para las frecuencias 38 y 120 kHz. Tomada de Benoit-Bird *et al.* (2008).

Publicación	Frecuencia	Intercepto	Min (cm)	LM	Max LM (cm)	Especie
Este trabajo	38	-73.92	15		57	<i>D. gigas</i>
Este trabajo	120	-76.59	15		57	<i>D. gigas</i>
Benoit-Bird <i>et al.</i> (2008)	38	-62	28		71.5	<i>D. gigas</i>
Benoit-Bird <i>et al.</i> (2008)	120	-67.9	28		71.5	<i>D. gigas</i>
Kawabata 2005	38	-73.1	18		28.4	<i>T. pacificus</i>
Khang <i>et al.</i> (2005)	38	-75.4	21		27	<i>T. pacificus</i>
Kawabata, 2001	38	-73.7	20		28	<i>T. pacificus</i>
Khang <i>et al.</i> (2004)	120	-73.5	21		27	<i>T. pacificus</i>

Lo que sostenemos con respecto a la hipótesis considerada en este trabajo, es que la razón más probable de esta gran diferencia entre modelos es el nado activo y el constante movimiento que generan cambios en el ángulo de la sección transversal del blanco de calamar gigante. Esta hipótesis difiere de la propuesta por Benoit-Bird *et al.* (2008), quienes no encuentran evidencia suficiente para asegurar que sea el nado y la orientación, ni el comportamiento en general, los que tengan un efecto suficientemente significativo en el ajuste del TS .

Como se ha discutido anteriormente, el TS es un valor muy variable y puede decirse que las características intrínsecas del animal, como su tamaño, anatomía y fisiología, son responsables de parte de esa variación (Ona, 1999), otra parte es resultado de las características extrínsecas provenientes del comportamiento, y otra podría atribuirse a las características del ambiente. Durante el invierno de 2009-2010 se presentó una gran disminución en el tamaño en la talla de primera madurez sexual, la longevidad y la fecundidad del calamar gigante en el Golfo de California, esta diferencia en su estrategia reproductiva ha sido atribuida a la presencia de un evento El Niño que fue catalogado por la

NOAA como evento moderado (<http://ggweather.com/enso/oni.html>, consultado julio 2018), pero también a una relación estrecha entre la elección del hábitat con la maduración precoz (Hoving *et al.*, 2013); estos cambios han persistido a través de múltiples generaciones de calamares y se mantienen hasta la actualidad. Para nosotros esto supone que la respuesta en la estrategia reproductiva que exhibe la población de calamar gigante del Golfo después del invierno de 2009-2010 explica parte de la variación de nuestros resultados por las diferencias intrínsecas de las muestras; en el trabajo de Benoit- Bird *et al.*, 2008 las muestras fueron recolectadas durante 2007, un periodo totalmente disímil en las características de la población de calamar gigante en el Golfo del que fue muestreado durante este ejercicio (2014-2016) en los que podrían establecerse diferencias significativas en cuanto al factor de condición, el contenido de grasa, el crecimiento y la madurez temprana, elementos cuyos cambios y sus consecuencias no se han abordado rigurosamente hasta el momento y cuya información podría contribuir en los resultados de este trabajo.

Por otra parte, es importante mencionar que varios autores coinciden en que la proporción hembra:macho en el calamar gigante nunca es 1:1 para ningún grupo de edad, más bien apoyan la idea de que la proporción de sexos está inclinada a favor de las hembras (Mejía-Rebollo, 2006). En este ejercicio no se tomó en cuenta el efecto que podría tener en el valor de *TS* la proporción de hembras y machos o las diferencias en sus estadios gonádicos, priorizándose únicamente la estación por su talla, lo cual también podría representar una fuente de error y un porcentaje de la explicación de la varianza entre el modelo publicado en este estudio y el de Benoit-Bird *et al.* (2008), con el cual este trabajo comparte intervalos de talla (Tabla VIII). La diferencia entre ambos modelos es en sí un resultado desconcertante e interesante que sirve como pauta para nuevas investigaciones sobre la naturaleza dispersora del calamar gigante del Golfo de California.

Por último, este trabajo también contribuye a ampliar las metodologías utilizadas normalmente para la determinación de este valor en estas especies (y otras, como peces), donde generalmente se utilizan modelos teóricos, modelos computacionales o experimentos *ex situ*, y si bien es cierto que la estimación del *TS* con métodos *in situ* a partir de animales vivos presenta dificultades, los métodos *ex situ* realizados con organismos manipulados

están expuestos al error que puede introducir en los análisis las burbujas de aire que se adhieren a su cuerpo, y aunque se tiene mayor control sobre las variables los cambios en los ángulos de inclinación, no necesariamente son considerados en las mediciones.

8.2 Sobre la separación y caracterización de cardúmenes

Los patrones de agregación observados en la ecosonda fueron diversos, como agregaciones en forma de penacho que están en medio de la columna de agua, lo que coincide con Vaughan y Recksiek (1979) (Figs. 6 y 7) y capas gruesas provenientes de la migración vertical (Anexo D). También se observó la separación de grupos separados de capas más densas, lo que coincide lo publicado por Benoit-Bird *et al.* (2012).

Según nuestro método, ampliar el intervalo recomendado aquí dibuja con mayor claridad las agregaciones de calamar, sin embargo también agrega mayor densidad en una capa superficial que puede abarcar de 3 a 10 metros de profundidad dependiendo de la región en la que se describa. Al no tener muestras que nos permitan discriminar a otras especies pelágicas diferentes al calamar gigante presentes en esta capa de dispersión, la adición de esta energía que no pertenece a calamar gigante agregaría incertidumbre a la estimación. El intervalo de categorización descrito aquí parece funcionar razonablemente bien; difiere con el propuesto por Benoit-Bird *et al.* (2012), el cual clasifica los dispersores de al menos 3 dB mayor en 120 kHz que en 38 kHz como presas del calamar o “pequeños dispersores” y los valores de menos de 3 dB mayores a 38 kHz que en todas las demás frecuencias (incluyendo 120 kHz), como los esperados para el calamar gigante. Por otro lado, Ballón *et al.* (2011) clasifica a los peces portadores de vejiga como los que tienen una retrodispersión ligeramente más alta en 38 kHz que en 120 kHz (+2) y a los organismos con propiedades acústicas similares al medio, denominados por Stanton *et al.* (1996) como *fluid-like* con un ΔS_v 120-38 positivo. Béhagle *et al.* (2017) también considera a los organismos *fluid-like* con un ΔS_v 120-38 kHz positivo (> 2 dB). En este trabajo suponemos el cuerpo del calamar gigante con propiedades materiales muy cercanas al agua de mar (Iida *et al.*, 2006;

Kang *et al.*, 2006; Lee *et al.*, 2012), por lo que consideramos que la respuesta acústica de sus agregaciones se encontrará en la diferencia entre 120-38 kHz. Asimismo, este intervalo es similar al propuesto por Cabreira *et al.* (2011), quienes concluyen que una diferencia de +5 dB (S_v 120-38 kHz) es suficiente para diferenciar las concentraciones del calamar *Illex argentinus* de otras agregaciones en el área.

La respuesta de frecuencia de otros grupos biológicos no está validada en este trabajo y va más allá del objetivo del mismo, por lo que hasta ahora no podemos considerarlas como ningún grupo en particular. Esta incertidumbre forma parte del resultado de un muestreo espacial imperfecto (el cual no estaba diseñado para cumplir este objetivo, sino pensado en el método de área barrida), pero además, existe una compleja mezcla de especies pelágicas y de hábitos nocturnos asociados. Esto podría solucionarse cambiando el tipo de muestreo, al menos hasta que se tenga mayor claridad sobre las respuestas de frecuencia de los grupos biológicos que acompañan al calamar gigante durante el muestreo nocturno. Esto no necesariamente demandaría inyectar mayores recursos económicos, sino cambiar el arte de pesca por una red de cerco, lo que se sugiere prever en el futuro.

8.3 Sobre la estimación de biomasa

Según Benoit-Bird *et al.* (2012), en un trabajo de evaluación de cuatro cruceros nocturnos el 90 % de los *tracks* de calamar gigante se suman en los primeros 75 m de la columna de agua y prácticamente todos los demás en los siguientes 15 m. Suponiendo que el calamar gigante migra verticalmente en la columna de agua, en una forma generalmente paralela a la capa de dispersión profunda pasando la noche a poca profundidad (Gilly *et al.*, 2006), en la capa de 100 a 200 m (Yatsu *et al.*, 199b), podemos considerar que la profundidad utilizada en este trabajo (110 m) es una buena representación espacial para la estimación de biomasa de calamar gigante distribuido en el Golfo de California durante el periodo de estudio.

Urías-Sotomayor *et al.* (2018), utilizando el modelo de Schaefer's, estimaron que en 2012 la biomasa de calamar gigante en el Golfo de California estuvo por debajo de las 50,000 t, y en 2014, utilizando el método de área barrida, Arizmendi-Rodríguez *et al.* (2014) estimaron 165,853 t de este recurso. Los valores estimados de biomasa en este trabajo (67,041~94,130 t) se encuentran entre estos dos extremos (50,000 y 165,853 t).

Existe en México un primer esfuerzo por estimar la biomasa de *Dosidicus gigas* utilizando acústica pesquera, comenzando por separar las agregaciones del ecosistema cuyos valores de *TS* estuvieran dentro de los rangos publicados por Benoit-Bird *et al.* (2008), utilizando posteriormente la misma ecuación para escalar los valores obtenidos por ecointegración (Avilés-Díaz, 2013). Este criterio para la separación de agregaciones puede incurrir en minimizar la contribución de agregaciones poco reflejantes en la ecointegración, lo que puede ser representado en los ecogramas como agregaciones dispersas y/o incurrir en la suma de la energía de otros grupos biológicos que tengan hábitos pelágicos y valores de *TS* relativamente altos, haciendo redundante el problema. En este trabajo al considerar la ecuación publicada por Benoit-Bird *et al.* (2008) para cualquiera de las dos frecuencias, el impacto en la estimación de biomasa es 7 a 13 veces menor (en 38 y en 120 kHz, respectivamente), con respecto a los resultados aquí descritos. Por esto, y mientras no se pruebe este método en una serie de tiempo más larga (que pudiera mostrar tendencias), se sugiere utilizar el valor de biomasa calculado como un índice de abundancia relativa, antes que como un valor absoluto.

9. CONCLUSIONES

9.1 Sobre el TS

La determinación de la relación entre la fuerza de blanco y la longitud de manto del calamar gigante (*Dosidicus gigas*) en este trabajo, contribuyó en la disminución de la incertidumbre en las estimaciones de biomasa con métodos acústicos para esta especie, asimismo, puede ser una referencia en estudios de estimación de fuerza de blanco en otras especies de calamares.

9.2 Sobre la categorización de las agregaciones

En el Golfo de California, este nuevo enfoque para aislar y categorizar grupos biológicos basándose en las diferentes propiedades de dispersión no se ha desarrollado completamente. Hacerlo podría mejorar el procesamiento de datos, aumentar la velocidad y mejorar la calidad de las estimaciones de biomasa con métodos acústicos, superando el escrutinio visual de ecogramas, que hasta ahora depende en gran medida de la experiencia del investigador. La aplicación de este método abre una serie de perspectivas científicas diferentes que deberán abordarse más ampliamente en el futuro. Comprender la dependencia teórica de frecuencias al menos de grandes grupos nos permitiría simultáneamente el análisis cuantitativo de varias comunidades del ecosistema, desde el plancton hasta los depredadores tope, así como considerar las interdependencias ecológicas entre ellas, lo que no se logra con ninguna otra herramienta de evaluación de recursos, y por ende contribuyendo al manejo de las pesquerías bajo un enfoque ecosistémico.

10. LITERATURA CITADA

- Anderson, E. J., M. E. DeMont. 2000. The mechanics of locomotion in the squid *Loligo pealei*: Locomotory function and unsteady hydrodynamics of the jet and intramantle pressure. *J. Exp. Biol.* 203: 2851–2863.
- André, M., T. Johansson, E. Delory, M. Van der Schaar. 2005. The Sperm Whale midrange sonar: detecting low reflective objects. *TecniAcustica*.
- Arnaya, I.M., N. Sano, K. Iida. 1989. Studies on acoustic target strength of squid. III. Measurement of the mean target strength of small live squid. *Bull. Fac. Fish. Hokkaido Univ.* 40: 100–115.
- Arnaya I.N., S. Noritatsu. 1990. Studies on Acoustic Target Strength of Squid VI. Simulation of squid target strength by prolate spheroidal model. *Bull. Fac. Fish. Hokkaido Univ.* 41(1): 32-42.
- Arizmendi-Rodríguez, D., M.O. Nevárez-Martínez, J.P. Santos-Molina, E. Álvarez-Transviña, V.E. González-Maynez, A. Valdez-Pelayo, M.A. Martínez- Zavala, J.G. Padilla-Serrato, C. Enciso-Enciso. 2014. La pesquería de calamar gigante (*Dosidicus gigas*) en Sonora, su variabilidad y su relación con la pesca y la variabilidad ambiental. Febrero de 2014. CRIP Guaymas, INAPESCA. Agosto del 2005. 42 p.
- Avilés-Díaz, A. 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. Universidad Nacional Autónoma de México. Facultad de Ciencias. Tesis (Licenciatura en biología), 71 p.
- Bazzino, G., W.F. Gilly, U. Markaida, C. A. Salinas- Zavala, J. Ramos-Castillejos. 2010. Horizontal movements, vertical-habitat utilization and diet of the jumbo squid (*Dosidicus gigas*) in the Pacific Ocean off Baja California Sur, Mexico. *Progress in Oceanography.* 86: 59-71.
- Bedford, M., J. Melbourne-Thomas, S. Corney, T. Jarvis, N. Kelly, A. Constable. 2015. Prey-field use by a Southern Ocean top predator: enhanced understanding using integrated datasets. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 526, 169–181.
- Béhagle, N., C. Cotté, A. Lebourges-Dhaussy, G. Roudaut, G. Duhameld, P. Brehmere, E. Josse, Y. Cherel. 2017. Acoustic distribution of discriminated micronektonic. *Deep Sea Res. II.* 100:164-173
- Benoit-Bird, K., J. Gilly, F. William, W. Whitlow, L. Au, M. Bruce. 2008. Controlled and *in situ* target strengths of the jumbo squid *Dosidicus gigas* and identification of potential acoustic scattering source. *J. Acoust. Soc. Am.* 123(3):1318-1328.
- Benoit-Bird, K.J., W.F. Gilly. 2012. Coordinated nocturnal behavior of foraging jumbo squid *Dosidicus gigas*. *Mar Ecol Prog Ser.* 455: 211-228.
- Cabreira, A. G., A. Madirolas, N. E. Brunetti. 2011. Acoustic characterization of the Argentinean short-fin squid aggregations. *Fish. Res.* 108(1): 95–99.
- Chen, G., J. Zhang, J. Yu, J. Fan, L. Fang. 2013. Hydroacoustic scattering characteristics and biomass assessment of the purpleback flying squid [*Sthenoteuthis oualaniensis* (Lesson, 1830)] from the deepwater area of the South China Sea. *J. Appl. Ichthyology.* 29: 1447–1452.
- Demer, D., M.A. Soule, R.P. Hewitt. 1999. A multiple-frequency method for potentially improving the accuracy and precision of *in situ* target strength measurements. *J.*

- Acoust. Soc. Am. 105 (4): 2359-2376.
- DOF, 2004. Diario Oficial de la Federación. Plan de Manejo Pesquero de Calamar Gigante. Primera edición. Publicado en 2004.
- DOF, 2010. Diario Oficial de la Federación. Plan de Manejo Pesquero de Calamar Gigante. Primera edición. Publicado en 2010.
- DOF, 2012. Diario Oficial de la Federación. Plan de Manejo Pesquero de Calamar Gigante. Primera edición. Publicado en 2012.
- DOF, 2014. Diario Oficial de la Federación. Plan de Manejo Pesquero de Calamar Gigante. Primera edición. Publicado en 2014.
- Ehrhardt, N.M., A. Solis, J. Pierre Ortiz, P. Ulloa, G. González, F. García. 1986. Análisis de la biología y condiciones del stock del calamar gigante en el Golfo de California, México, durante 1980. *Ciencia Pesquera*. 5: 63–76.
- Ehrhardt, N.M., P.S. Jacquemin, B.F. García, D.G. González, B.J.M. López, C.J. Ortiz, N.A. Solís. 1983. On the fishery and biology of the giant squid *Dosidicus gigas* in the Gulf of California, Mexico. In: Caddy, J.F. (eds.). *Advances in Assessment of World Cephalopod Resources*. FAO Fisheries Technical Paper. 231: 306–340.
- FAO. 2016. El estado mundial de la pesca y la acuicultura 2016. Contribución a la seguridad alimentaria y la nutrición para todos. Roma. 224 pp.
- Fernandes, P. G., F. Gerlotto, D. V. Holliday, O. Nakken, E. J. Simmonds. 2002. Acoustic applications in fisheries science: the ICES contribution, *ICES M.S.S.* 215: 483–492.
- Field, J.C., K. Baltza, J. Phillips, W.A Walker. 2007. Range expansion and trophic interactions of the jumbo squid, *Dosidicus gigas* in the California current, California CalCOFI Reports. 48: 131–146.
- Fielding, S., J.L. Watkins, P.N. Trathan, P. Enderlein, C.M. Waluda, G. Stowasser, G.A. Tarling, E.J. Murphy. 2014. Interannual variability in Antarctic krill (*Euphausia superba*) density at South Georgia, Southern Ocean: 1997–2013. *ICES J. Mar. Sci.* 71, 2578–2588.
- Foote, K.G. 1979a. On representing the length dependence of acoustic target strengths of fish. *J. Fish. Res. Board Can.* 36 (12): 1490–6.
- Foote, K. G. 1980. Averaging of fish target-strength functions. *J. Acoust. Soc. Am.* 67: 504-515.
- Foote, K. G. 1983. Linearity of fisheries acoustics, with additional theorems. *J. Acoust. Soc. Am.* 73: 1932–1940.
- Foote, K.G. 1986. A critique of Goddard and Welsby's paper 'The acoustic target strength of live fish'. *J. Cons. Int. Explor. Mer.* 42: 212–20.
- Foote, K.G., R.T. Hanlon, P.J. Iampietro, R. G. Kvitek. 2006. Acoustic detection and quantification of benthic egg beds of the squid *Loligo opalescens* in Monterey Bay, California. *J. Acoust. Soc. Am.* 119(2): 844-856.
- Gilly W.F., U. Markaida, C. H. Baxter, B. A. Block, A. Boustany, L. Zeidberg, K. Reisenbichler, B. Robison, G. Bazzino, C. Salinas. 2006. Vertical and horizontal migrations by the jumbo squid *Dosidicus gigas* revealed by electronic tagging. *Mar Ecol Prog Ser.* 324: 1–17.
- González-Chávez, G., V. Arenas-Fuentes. 2003. Distribución y abundancia de blancos acústicos usando hidroacústica de alta frecuencia en la costa norte de Baja California, México. *Ciencia y Mar.* 7(20): 27-38.

- Goss, C., P. Rodhouse, J.L. Watkins, A.S. Brierley. 1998. Attribution of Acoustic Echoes to Squid in the South Atlantic. *CCAMLR Science*. 5:259-271.
- Goss, C., D. Middleton, P. Rodhouse. 2001. Investigations of squid stocks using acoustic survey methods. *Fish. Res.* 54: 111–121.
- Gunderson, D.R. 1993. *Surveys of fisheries resources*. Wiley, New York. 248p.
- Hazen E.L., J. Horne. 2003. A method for evaluating the effects of biological factors on fish target strength. *ICES J. Mar. Sci.* 60: 555–562.
- Hernández Herrera, A., E. Morales Bojórquez, M.O. Nevárez Martínez, A. Balmori Ramírez, G. Rivera Parra. 1996. Distribución de tallas y aspectos de la reproducción del calamar gigante (*Dosidicus gigas*) en el Golfo de California, México en 1996. *Ciencia Pesquera*. 12: 85-89.
- Hernández-Herrera, A., E. Morales-Bojórquez, M.A. Cisneros-Mata, M.O. Nevárez-Martínez, G.I. Rivera-Parra. 1998. Management strategy for the giant squid (*Dosidicus gigas*) from Gulf of California, Mexico. *CalCOFI Reports*. 39:212-218.
- Hoving, H. T., W. F. Gilly, U. Markaida, K.J. Benoit-Bird. 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.
- Iida, K., R. Takahashi, Y. Tang, T. Mukai, M. Sato. 2006. Observation of marine animals using underwater acoustic camera. *J.J.A.P.* 145: 4875–4881.
- Jones, B. A., A. C. Lavery, T.K. Stanton. 2009. Use of the distorted wave Born approximation to predict scattering by inhomogeneous objects: Application to squid. *J. Acoust. Soc. Am.* 125: 73–88.
- Kang, D., T. Mukai, D. Hwang. 2004. Acoustic target strength of Japanese common squid, *Todarodes pacificus*, and important parameters influencing its TS: swimming angle and material properties. *IEEE*. 364–369.
- Kang, D., T. Mukai, K. Iida, D. Hwang, J.G. Myoung. 2005. The influence of tilt angle on the acoustic target strength of the Japanese common squid (*Todarodes pacificus*). *ICES J. Mar. Sci.* 62:779-789.
- Kang, D., K. Iida, T. Mukai, J. Kim. 2006. Density and sound speed contrasts of the Japanese common squid *Todarodes pacificus* and their influence on acoustic target strength. *Fish. Sci.* 72: 728–736.
- Kajiwara, Y., K. Iizka, Y. Kamei. 1990. Measurement of target strength for the flying squid (*Ommastrephes bartrami*). *Bull. Fac. Fish. Hokkaido Univ.* 41: 205–212.
- Kawabata, A. 1999. Measurement of the target strength of Japanese flying squid, *Todarodes pacificus* Steenstrup. *Bull. Tohoku Reg. Fish. Res. Lab.* 29–40.
- Kawabata, A. 2001. Measurement of the target strength of live squid, *Todarodes pacificus* Steenstrup, in controlled body tilt angle. *Bull. Tohoku Reg. Fish. Res. Lab.* 61–67.
- Kawabata, A. 2005. Target strength measurements of suspended live ommastrephid squid, *Todarodes pacificus*, and its application in density estimations. *Fish. Sci.* 71: 63–72.
- Klett, A. 1981. Estado actual de la pesquería del calamar gigante en el estado de Baja California Sur. *Centro Investig. Pesquera de la Paz, B.C.S. Ser Cientif. México*. 21:21-29.
- Lee, W., A. Lavery, T.K. Stanton. 2012. Orientation dependence of broad-band acoustic backscattering from live squid. *J. Acoust. Soc. Am.* 131: 4461–4475.
- Lipinski, M.R., L.G. Underhill. 1995. Sexual maturation in squid: Quantum or continuum.

- S. Afr. J. Mar. Sci. 15: 207–223.
- Lipinski, M. R., I. Hampton, W. H. H. Sauer, C. J. Augustyn. 1998. Daily net emigration from a spawning concentration of chokka squid (*Loligo vulgaris reynaudii* d'Orbigny, 1845) in Kromme Bay, South Africa. ICES J. Mar. Sci. 55: 258–270.
- Lipinski, M. R., M. A. Soule. 2007. A new direct method of stock assessment of the loliginid squid. Rev Fish Biol Fisheries. 17: 437–453.
- Love, R. H. 1971. Measurements of fish target strengths: a review. Fish. Bull. 69: 703-15.
- MacLennan, D. N. 1990. Acoustical measurement of fish abundance. J. Acoust. Soc. Am. 87: 1–15.
- MacLennan, D. N., E.J. Simmonds. 1992. Fisheries Acoustics. Chapman and Hill. 1er ed. London. 325p.
- MacLennan, D. N., P. G. Fernandes, J. Dalen. 2002. A consistent approach to definitions and symbols in fisheries acoustics. ICES Jour. Mar. Sci. 59: 365–369.
- Madsen, P. T., M. Wilson, M. Johnson, R. T. Hanlon, A. Bocconcelli, N. A. Soto, P.L. Tyack. 2007. Clicking for calamari: toothed whales can echolocate squid *Loligo pealeii*. Aquat. Biol. 1: 141–150.
- Madureira, L. R. Habiaga, C. Soares, S. Weigert, C. Ferreira, D. Eliseire, A.C. Duvoisin. 2005. Identification of acoustic records of the Argentinian Calamar *Illex argentinus* (Castellanos, 1960) along the outer shelf and shelf break of the south and southeast coast of Brazil. Fish. Res. 73: 251–257.
- Markaida, Unai. 2001. Biología del calamar gigante *Dosidicus gigas* Orbigny, 1835 (Cephalopoda: Ommastrephidae) en el Golfo de California, México. Tesis (Doctorado). Centro de Investigación y de Educación Superior de Ensenada. 426 p.
- Mejía-Rebollo M. 2006. Edad y Crecimiento de calamar gigante *Dosidicus gigas* d'Orbigny, 1835 capturado en la costa occidental de la Península de Baja California, México durante el año 2004. Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste. Tesis (Maestría en Ciencias), 123 p.
- Midttun, L. 1984. Fish and other organisms as acoustic targets. Rapp. P.-v. Reun. Cons. Int. Explor. Mer. 184: 25–33.
- Morales-Bojórquez, E., A. Hernández-Herrera, M.O. Nevárez-Martínez, A. J. Díaz de León, G.I. Rivera-Parra, A. Ramos-Montiel. 1997. Abundancia poblacional del calamar gigante (*Dosidicus gigas*) en las costas de Sonora, México. Oceánides. 12(2):91-96.
- Morales-Bojórquez, E., S. Martínez Aguilar, M.O. Nevárez Martínez, F. Arreguín Sánchez. 2001. Estimations of catchability-at-length for the jumbo squid (*Dosidicus gigas*) fishery in the Gulf of California, Mexico. CalCOFI Rep. 42: 167-171.
- Morales-Bojórquez, E., A. Hernández-Herrera, M. Nevárez-Martínez, M. A. Cisneros-Mata y F. Guerrero. 2001b. Population size and exploitation of giant squid (*Dosidicus gigas*) in the Gulf of California Mexico. Sci. Mar. 65(1):75-80.
- Moreno-Amich, R. 1990. La ecosondación como método de estudio de la dinámica poblacional de peces. Scienta Gerundensis. 28(16): 19–28.
- Mukai, T., K. Iida, K. Sakaguchi, K. Abe. 2000. Estimations of squid target strength using a small cage and theoretical scattering models. Proc. JSPS-DGHE Int. Symp. 10: 135–140.
- Myriax 2015. Echoview. Myriax Software Pty Ltd, Hobart, Tasmania, Australia.

- Nigmatullin, C. M., K. N. Nesis, A.I. Arkhipkin. 2001. A review of the biology of the jumbo squid *Dosidicus gigas* (Cephalopoda : Ommastrephidae). Fish. Res. 54:9–19.
- NMFS. 2001. Marine Fisheries Stock Assessment Improvement Plan. Report of the National Marine Fisheries Service National Task Force for Improving Fish Stock Assessments. U.S. Dep. Commerce, NOAA Tech. Memo. NMFS-F/SPO-56. 69 p.
- Nesis, K.N. 1970. Biology of the Peru-Chilean giant squid, *Dosidicus gigas*. Oceanology, 10:140-152.
- Nesis, K. N. 1983. *Dosidicus gigas*. In: P.R. Boyle (eds.). Cephalopod life cycles. Academic Press. Vol. II. London. pp. 215-231.
- Nevárez-Martínez, M.O., A. Hernández-Herrera, E. Morales-Bojórquez, A. Balmori-Ramírez, M. Cisneros-Mata, R. Morales-Azpeitia. 2000. Distribution and abundance of jumbo squid (*Dosidicus gigas*) in the Gulf of California, Mexico. Fish. Res. 49(2):129-140.
- Névárez Martínez. M.O., A. Hernández-Herrera, E. Morales- Bojórquez, A. Balmori-Ramirez, M.A. Cisneros- Mata, R. Morales- Azpeitia. 2000. Biomass and distribution of the jumbo squid (*Dosidicus gigas*, d'Orbigny, 1835) in the Gulf of California, Mexico. Fish. Res. 49:129–140.
- Nevárez-Martínez M.O., E. Morales-Bojórquez, I. Rivera-Parra. 2011. La pesquería del calamar gigante *Dosidicus gigas* (D'Orbigny, 1835) del Golfo de California y su relación con la variabilidad ambiental. p. 129-140. *En: Variabilidad Ambiental y Pesquerías de México*. López-Martínez. J. (ed.). Comisión Nacional de Acuacultura y Pesca.
- Nevárez Martínez. M.O., F. Méndez Tenorio, C. Cervantes Valle, J. López Martínez, M. Anguiano Carrasco. 2006. Growth, mortality, recruitment, and yield of the jumbo squid (*Dosidicus gigas*) off Guaymas, Mexico. Fish. Res. 79:38-47.
- Ona. E. 1999. Methodology for Target Strength Measurements. ICES Report. (235).
- Overholtz, W.J., M.P. Sissenwine, S.H. Clark. 1986. Recruitment variability and its implication for managing and rebuilding the Georges Bank haddock (*Melanogrammus aeglefinus*) stock. Can. J. Fish. Aquat. Sci. 43:748-753.
- Parkinson, E. A., B. E. Rieman, L.G. Rudstam. 1994. Comparison of acoustic and trawl methods for estimating density and age composition of kokanee. Trans. Am. Fish. Soc. 123: 841–854.
- Rodhouse, P.G. 2013. Role of squid in the Southern Ocean pelagic ecosystem and the possible consequences of climate change. Deep Sea Res. II. 95:129-138.
- Roberts, M.J., M. Barange, M.R. Lipinski, M.R. Prowse. 2002. Direct hydroacoustic observations of Chokka squid *Loligo vulgaris Reynaudii* spawning activity in deep water. S. Afr. J. Mar. Sci. 24:387-393.
- Robertis, A. I. Higginbottom. 2017. A post-processing technique to estimate the signal-to-noise ratio and remove echosounder background noise. ICES J. Mar. Sci. 64:1282–1291.
- Robinson, C.J., L. Avilés-Díaz, J. Gómez-Gutiérrez, C. Salinas-Zavala, S. Camarillo Coop, A. Mejía-Rebollo. 2014. Hydroacoustic survey of the jumbo squid *Dosidicus gigas* in the Gulf of California during March and September-October 2010. Hidrobiológica. 24 (1): 34-44.
- Rudstam, L. G., S. L. Parker, D. W. Einhouse, L. D. Witzel, D. M. Warner, J. L. Stritzel, P.

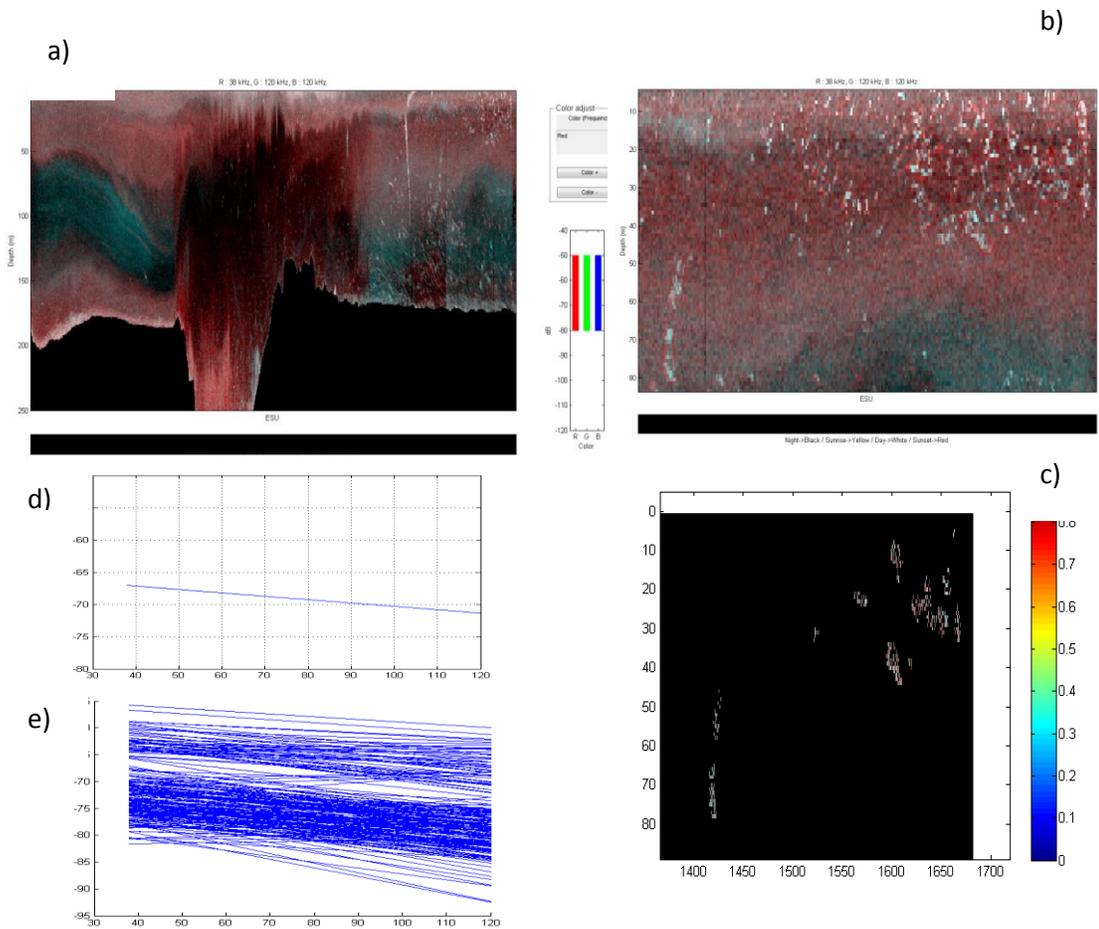
- J. Sullivan. 2003. Application of in situ target-strength estimations in lakes : examples from rainbow-smelt surveys in Lakes Erie and Champlain. ICES Jour. Mar. Sci. 60: 500–507.
- Ryan, T.E, R. A. Downie, R. J. Kloser, G. Keith. 2015. Reducing bias due to noise and attenuation in open-ocean echo integration data. ICES Jour. Mar. Sci. 72(8), 2482–2493.
- Saunders, R.A., S. Fielding, S.E. Thorpe, G.A. Tarling. 2013. School characteristics of mesopelagic fish at South Georgia. Deep Sea Res. I. 81:62–77.
- Sameoto, D. D. 1976. Distribution of sound scattering layers caused by Euphausiids and their relationship to chlorophyll a concentrations in the Gulf of St. Lawrence Estuary. Jour. Fish. Res. Can. U.K. 35: 681-687.
- Sawada, K., M. Furusawa. 1993. Conditions for the precise measurement of fish target strength in situ. 海洋音響学会誌20巻 第2号.
- Simmonds, J., D. MacLennan. 2005. Fisheries Acoustics. Theory and practices, Chapman & Hall. 2da ed. Berlin. 325p.
- Soule, M. A., I. Hampton, M.R. Lipiński. 2010. Estimating the target strength of live, free-swimming chokka squid *Loligo reynaudii* at 38 and 120 kHz. ICES J. Mar. Sci. 67(7): 1381–1391.
- Starr, R. M., R.E. Thorne. 1987. Acoustic assessment of squid stocks. In: Rodhouse P.G., E.G. Dawe., R.K. O’Dor (eds). Squid recruitment dynamics. The genus *Illex* as model, the commercial *Illex* species and influences on variability. FAO Fisheries Technical Paper No. 376. Rome.
- Stanton, T., D. Chu, P.H. Wiebe. 1996. Acoustic scattering characteristics of several zooplankton groups. ICES J. Mar. Sci. 53: 289–295b.
- Transviña- Carrillo L.D., A. Hernández-Herrera, Y.E.Torres-Rojas, F. Galván-Magaña, A. Sánchez-González, S. Aguiñiga-García. 2018. Spatial and trophic preferences of jumbo squid *Dosidicus gigas* (D’Orbigny, 1835) in the central Gulf of California: ecological. Rapid Commun. Mass Spectrom. 32:1225–1236.
- Urías-Sotomayor, R., G. I. Rivera-Parra, F. J. Martínez-Cordero, N. Castañeda-Lomas, R. Pérez-González, G. Rodríguez-Domínguez. 2018. Stock assessment of jumbo squid *Dosidicus gigas* in northwest Mexico. Lat. Am. J. Aquat. Res. 46(2): 330-336.
- Vaughan, D., C. Recksiek. 1979. Detection of market squid, *Loligo opalescens*, with echo sounders. XX: 40–50.
- Villalobos, H., F. Manini-Ramos, C. Salinas-Zavala, P. Brehmer. 2013. Jumbo Squid (*Dosidicus gigas*) in situ Target Strength measurements in Northwest Mexico. IEEE/OES RIO Acoustics 2013.
- Yatsu, A., K. Yamanaka, C. Yamashiro. 1999. Tracking experiments of the jumbo squid, *Dosidicus gigas*, with an ultrasonic telemetry system in the Eastern Pacific Ocean. Bull.Nat. Res. Inst. Far Seas Fish. 36:55-60.
- Zeidberg L.D., H.B. Robison. 2007. Invasive range expansion by the Humboldt squid, *Dosidicus gigas*, in the eastern North Pacific. Proc Natl Acad Sci USA. 104: 12948–12950.
- Zhang, J., Z. Z. Chen, G. B. Chen, P. Zhang, Y.S. Qiu, Z. Yao. 2015. Hydroacoustic studies on the commercially important squid *Sthenoteuthis oualaniensis* in the South China

Sea. Fish. Res. 169: 45–51.

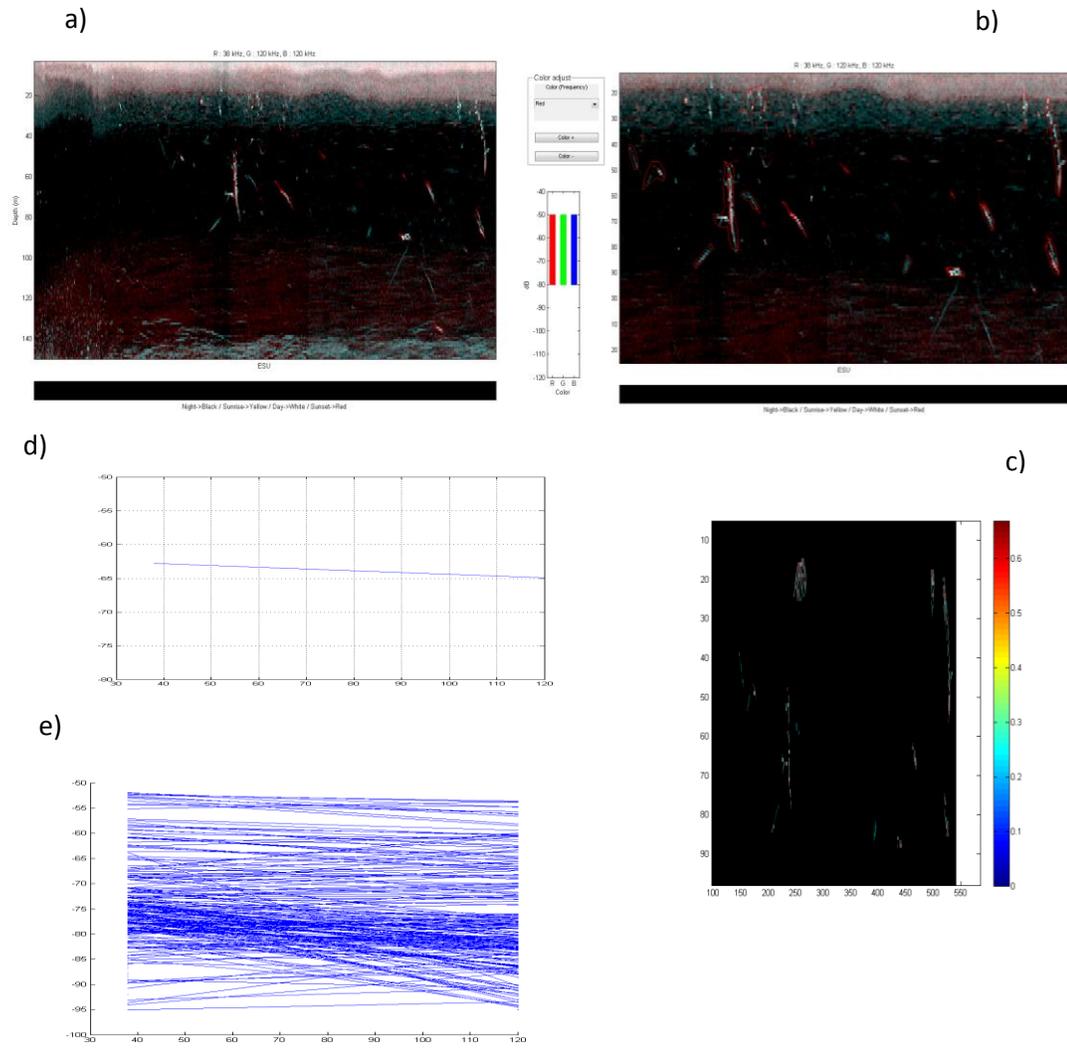
Zhao, X. 2006. In situ target-strength measurement of young hairtail (*Trichiurus haumela*) in the Yellow Sea. ICES J. Mar. Sci. 63, 46–51.

11. ANEXOS

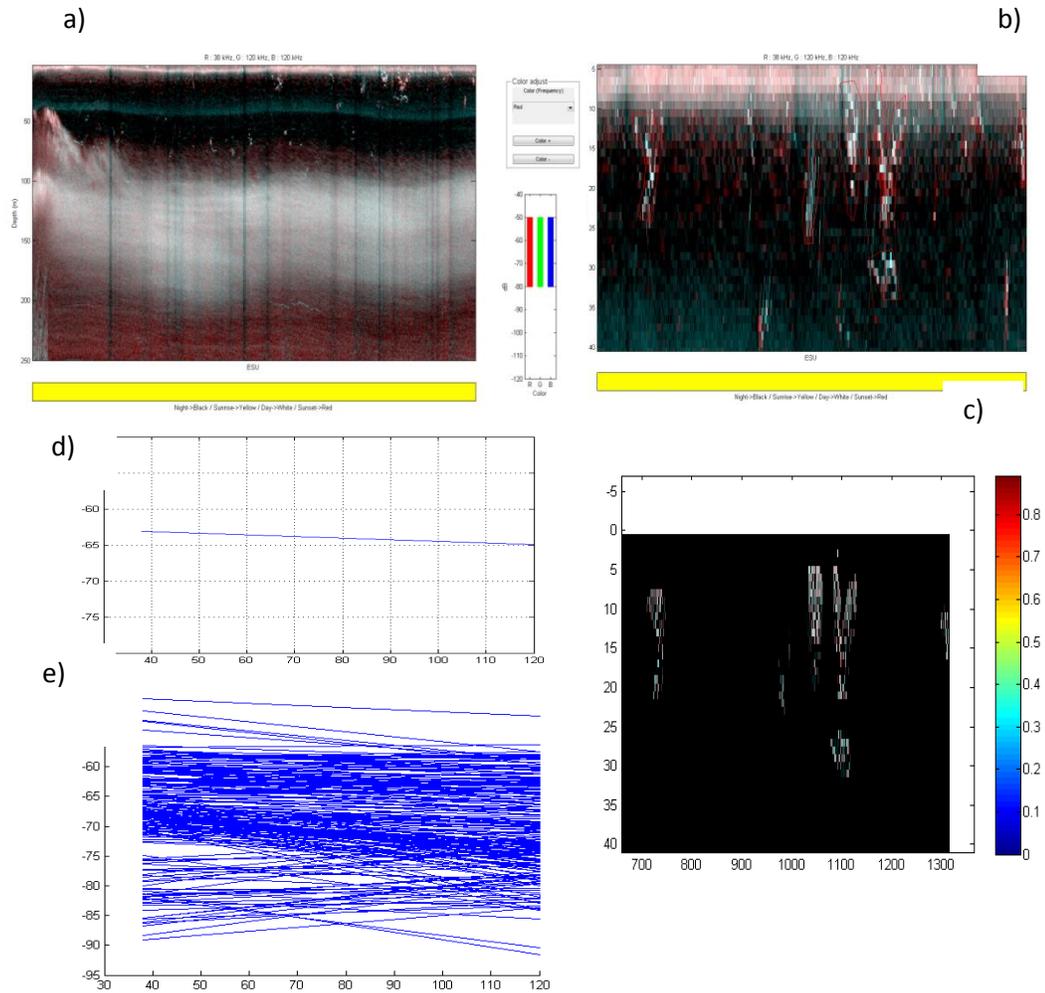
Anexo A. Estación 34. a y b) Respuesta de agregaciones a cada frecuencia (interpretación de colores ver Figura 7). c) Extracción de S_v en agregaciones. d y e) Diferencias de frecuencias y promedio de valores (dB), respectivamente.



Anexo B. Estación 15. a y b) Respuesta de agregaciones a cada frecuencia (interpretación de colores ver Figura 7). c) Extracción de S_v en agregaciones. d y e) Diferencias de frecuencias y promedio de valores (dB), respectivamente.

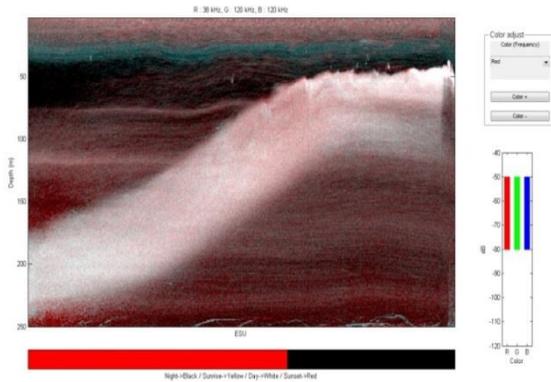


Anexo C. Estación 22. a y b) Respuesta de agregaciones a cada frecuencia (interpretación de colores ver Figura 7). c) Extracción de S_v en agregaciones. d y e) Diferencias de frecuencias y promedio de valores (dB), respectivamente.

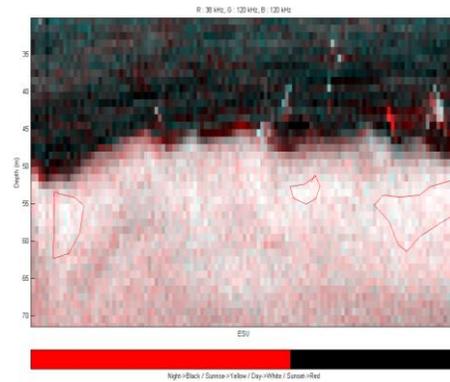


Anexo D. Estación 13. a y b) Respuesta de agregaciones a cada frecuencia (interpretación de colores ver Figura 7). c) Extracción de S_v en agregaciones. d y e) Diferencias de frecuencias y promedio de valores (dB), respectivamente.

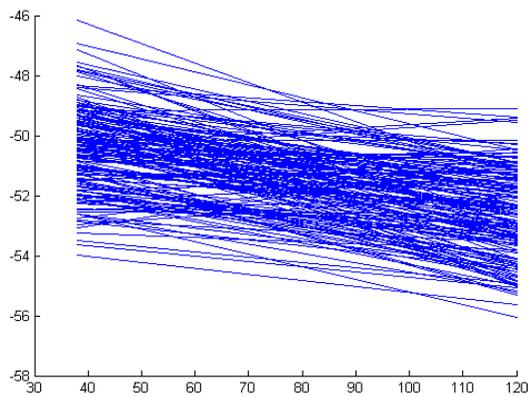
a)



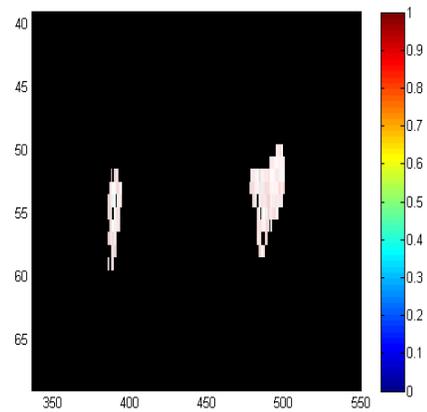
b)



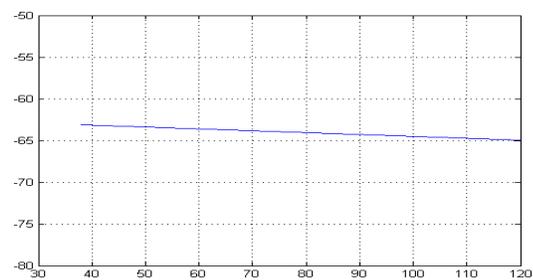
d)



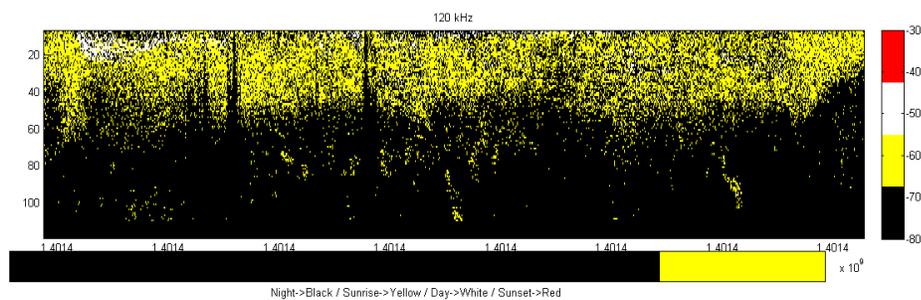
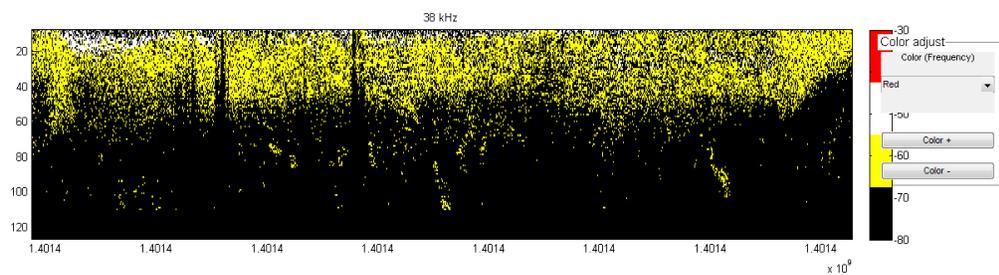
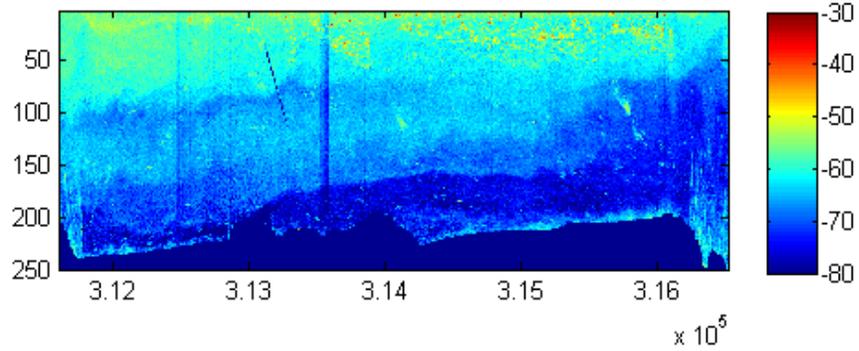
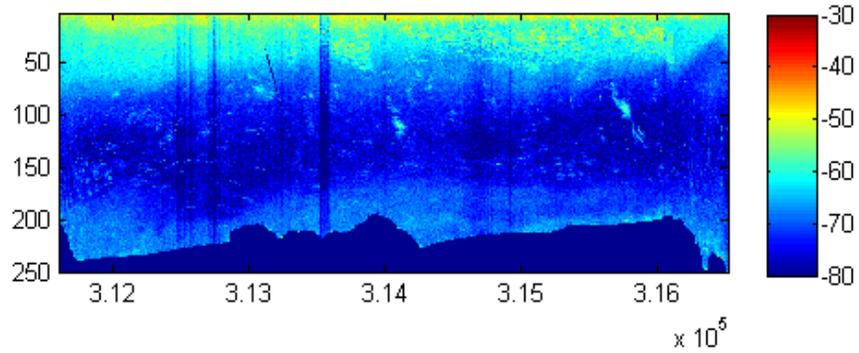
c)



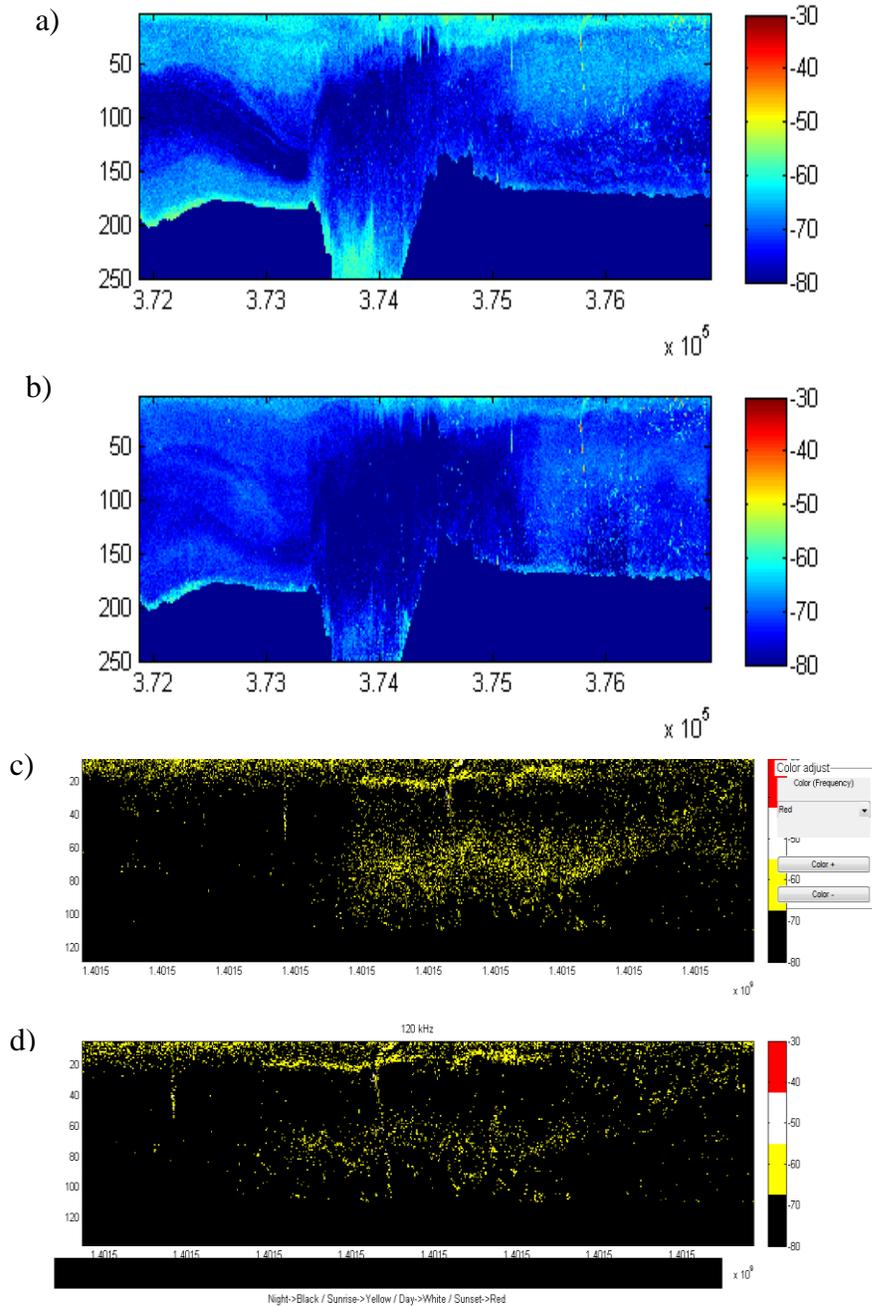
e)



Anexo E. Estación 34. a) y b) S_v de ecogramas originales 38 y 120 , respectivamente; c) y d) Extracción de dispersores con ΔS_v en in intervalo de -3 and +1, 38 y 120 , respectivamente. En rojo capturas de calamar por tiempo y profundidad.



Anexo F. Estación 34. a) y b) S_v de ecogramas originales 38 y 120 , respectivamente; c) y d) Extracción de dispersores con ΔS_v en in intervalo de -3 and +1, 38 y 120 , respectivamente. En rojo capturas de calamar por tiempo y profundidad.



Anexo G. Estación 13. a) y b) S_v de ecogramas originales 38 y 120 , respectivamente; c) y d) Extracción de dispersores con ΔS_v en in intervalo de -3 and +1, 38 y 120 , respectivamente. En rojo capturas de calamar por tiempo y profundidad.

