

Ciencias del Mar y Limnología
Nacional Autónoma de México



**Sonidos y conducta de la Ballena Gris (*Eschrichtius robustus*) en su área de
crianza y reproducción de la Laguna San Ignacio, B.C.S., México.**

TESIS

Que para obtener el grado académico de

Maestra en Ciencias del Mar y Limnología
(Biología Marina)

P r e s e n t a

Anaid Ibeth López Urban

Director de tesis: Dr Jorge Urbán Ramírez

Comité tutorial: Dra. Carmen Bazúa Durán, Dra. Tania Escalante Espinoza, Dr. Volker Koch
y Dr. Carlos Jorge Robinson Mendoza



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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



Estar preparado es importante,
saber esperar lo es aún más, pero
aprovechar el momento adecuado
es la clave de la vida.

Arthur Schnitzler(1862-1931)

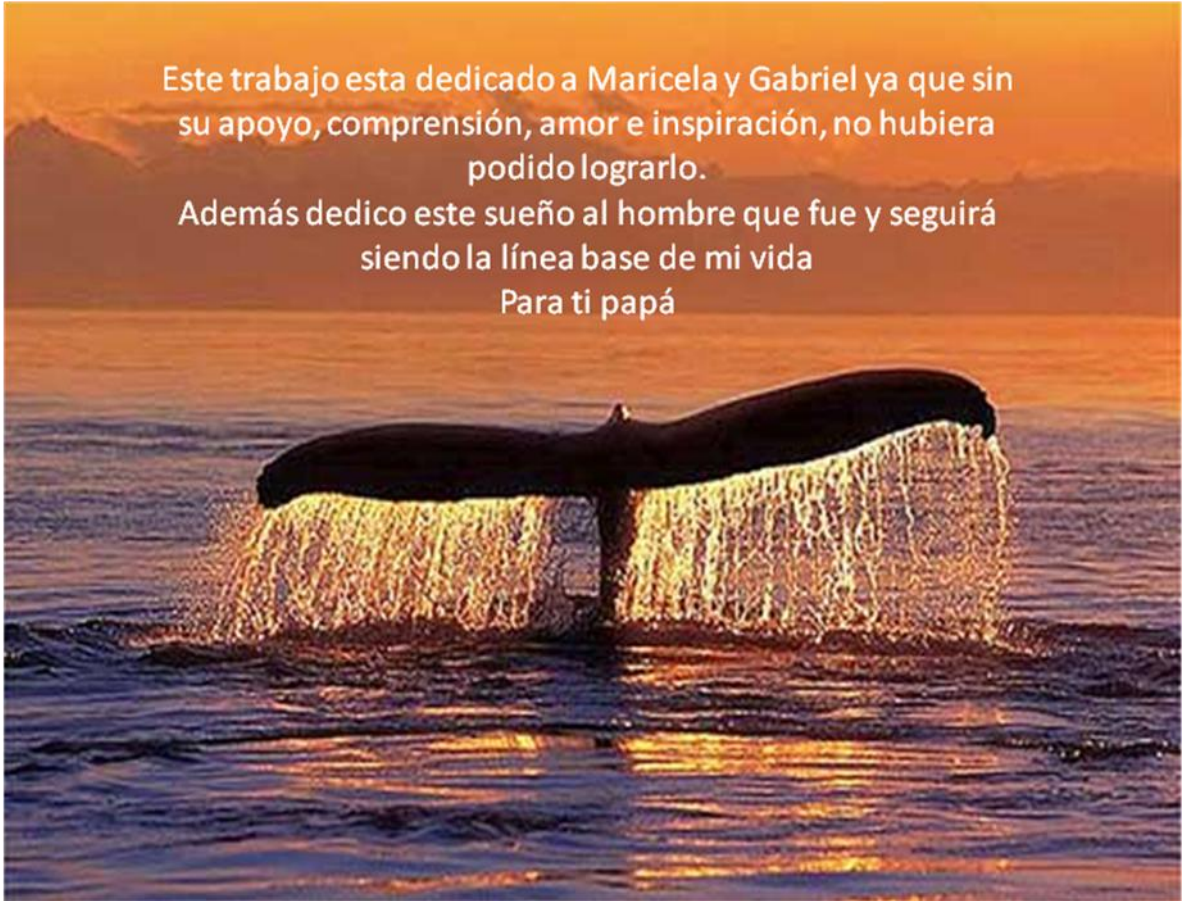


Hay una fuerza motriz más poderosa
que el vapor, la electricidad y la
energía atómica: la voluntad.

Albert Einstein (1879-1955)



Este trabajo esta dedicado a Maricela y Gabriel ya que sin su apoyo, comprensión, amor e inspiración, no hubiera podido lograrlo.
Además dedico este sueño al hombre que fue y seguirá siendo la línea base de mi vida
Para ti papá



Mamá: No existen palabras para expresar el agradecimiento que siento por ti, cada paso que doy y cada meta alcanzada está inspirada en ti, gracias por estar a mi lado siempre.

Gabriel: gracias por apoyarme en todo momento, por ser el mayor ejemplo en mi vida y por inspirarme a superarme día con día.

Astrid: Por ser mi mejor amiga, por escucharme y siempre estar a mi lado.

Saray: Por volverte mi cómplice y mi confidente.

Gracias a mi asesor: Jorge Urbán, por todo el apoyo y la confianza depositada en mí, por ser un ejemplo a seguir y por transmitirme ese gran amor y pasión por las ballenas.

Gracias a Carmen Bazúa: Por apoyarme en todo momento y por darme grandes lecciones de vida que jamás olvidare.

A mis asesores: Tania Escalante, Volker Koch, Carlos Robinson por sus comentarios los cuales enriquecieron más este trabajo.

Gracias a Steven Swartz: por enseñarme que la investigación es pasión por el conocimiento.

Gracias a Aaron Thode: Por prestarme sus datos, su equipo, aceptarme en SCRIPPS y enseñarme a utilizar los programas acústicos.

Gracias a Melania Guerra: Por ser una gran inspiración y por inyectarme ese amor y pasión por la acústica.

Gracias a mis compañeros PRIMMA: por compartir tempestades y días hermosos por aguantar fríos y fuertes calores, con el único fin: estar con los mamíferos marinos.

Gracias a Alejandro Gómez-Gallardo: Por apoyarme en aspectos técnicos y por brindarme su amistad.

Gracias a Hiram y Sandra Smith: Por ser mis maestros, pero sobre todo por apoyarme, enseñarme y despertarme ese amor y curiosidad por estos bichos.



Gracias a Ale, Euri, Li, Diana, Charo, Clara, Gogo: Por no olvidarse de mí y por siempre estar a mi lado aunque la distancia nos separe.

Gracias a Leo y Sara: Por ser mi familia paceña.

Gracias a mis compañeros de maestría: Dani, Brenda, Alma, Wez, Jess y Aaron por tan buenos momentos compartidos.

Gracias a CONACyT: Por la beca otorgada

Gracias a Laguna San Ignacio Ecosystem Science Program: Por el financiamiento otorgado para llevar a cabo este proyecto, las estancias y los congresos.

Gracias a WWF- Telcel: Por la beca otorgada.

Gracias al Posgrado de Ciencias del Mar y Limnología de la UNAM: Por el apoyo otorgado.

Gracias al campamento KUYIMA: por el préstamo de sus instalaciones y por apoyarnos en todo lo momento.

Gracias a todo el personal KUYIMA: Por adoptarme cada temporada.

Gracias a Lupita, Chantal, Diana, Gaby, y a la Dra Vilaclara, por apoyarme en todos los trámites y por aguantarme desde lejos.

Gracias a Eduardo y Braulio: Por enseñarme acústica, por animarme hacer las cosas y sobre todo por estar a mi lado en esos momentos.



Contenido

	Página
Resumen	3
Abstract	5
Introducción	7
Antecedentes	10
Objetivos	14
Área de estudio	15
Ubicación.....	15
Dimensiones.....	15
Batimetría.....	16
Salinidad.....	18
Vientos y mareas.....	18
Método	19
Trabajo de campo.....	19
Definición de los estratos en la columna de agua.....	23
Análisis de los datos acústicos.....	24
Análisis estadísticos.....	29
Resultados	30
Definición del fondo de la columna de agua.....	31
Clasificación de las llamadas.....	32
Diferencias en el número de llamadas de acuerdo al estrato en la columna de agua en el que se encontraba la ballena, por grupo demográfico y para cada tipo de llamada.....	36



Diferencias en el número de llamadas por tipo y de acuerdo a sus parámetros acústicos por grupo demográfico.....	38
Discusión	46
Conclusiones	55
Referencias	57
Anexo 1 (rutas seguidas por las ballenas marcadas).....	63



Resumen

La ballena gris (*Eschrichtius robustus*) es la única especie de la familia Eschrichtiidae. En la actualidad, esta ballena se encuentra representada por dos poblaciones en el Océano Pacífico, la casi extinta población asiática y la más conocida población americana. La ballena gris, al igual que otros cetáceos, utilizan el sonido para obtener información de su entorno, alertarse ante la presencia de depredadores, obtener a sus presas, así como para comunicarse con sus con-específicos. En la Laguna San Ignacio, Baja California Sur, México la contaminación acústica se ha hecho presente en las zonas de crianza y reproducción de esta ballena, donde los turistas acuden a observar e interactuar con este animal, provocando un aumento en el tráfico de embarcaciones y, con ello, un incremento en el ruido ambiental. Por ello, este estudio buscó describir cómo la ballena gris utilizó sus vocalizaciones en la columna de agua para comprender cómo es que las actividades antropogénicas pueden estar afectando la comunicación acústica de esta especie. En las temporadas invernales de 2008, 2009 y 2010 se colocaron 24 marcas (B-Probe, utilizadas por primera vez en la ballena gris) que realizaron grabaciones acústicas y midieron la presión hidrostática, obteniendo 1591 minutos de grabación e identificando 1255 llamadas clasificadas en 5 tipos: *CONGA*, *QUEJIDO*, *PURR*, *CROAC* y *RONRONEO*. Se encontró que las llamadas se emitieron en distintos estratos de la columna de agua en que se encontraba la ballena dependiendo del tipo de llamada. Además, cuando se diferenciaron los tipos de llamadas entre madres con cría y solitarios se encontró que ambos grupos demográficos utilizaron los 5 tipos de llamadas identificadas y presentaron un mayor registro de fonaciones en la superficie, aunque los solitarios emitieron más llamadas en el fondo que las madres con cría. La llamada más común, tanto para madres con cría como para solitarios, fue



el tipo *CONGA*, pero el resto de las llamadas fueron producidas de manera distinta por los dos grupos demográficos. El análisis de la estructura de la llamada tipo *CONGA* mostró que existieron diferencias significativas entre madres con cría y solitarios para los parámetros: frecuencia mínima, frecuencia baja-máxima y número de pulsos. La llamada tipo *RONRONEO*, la cual fue emitida con mayor frecuencia por los solitarios, no había sido descrita para esta especie. Así, los resultados obtenidos con este estudio indican que los grupos demográficos de ballena gris en la Laguna San Ignacio realizan su comunicación acústica de manera semejante. Es posible que ambos grupos demográficos emitieron más fonaciones en la superficie porque necesitan estar cerca de ella para respirar. Los solitarios emitieron un gran número de sus fonaciones en el fondo probablemente para evitar el ruido antropogénico que es mayor en la superficie. Este trabajo logró un mejor entendimiento en la acústica de la ballena gris que ayudará a implementar medidas de conservación en sus áreas de protección, como lo es la Reserva de la Biosfera Laguna San Ignacio.



Abstract

The Gray whale is the only species of the *Eschrichtiidae* family. Currently, it has two populations: the American and the nearly extinct Asian population. The Gray whale, as other marine mammals, use sound to gather information about their environment, to determine predator presence, to obtain food, and to communicate with other whales. In San Ignacio Lagoon, Baja California Sur, Mexico acoustic pollution is present at the breeding and reproduction grounds, where whalewatching has increased boat traffic and has contributed to the ambient noise. Therefore, this study investigated if there was a relationship between call production and the whale position in the water column to determine if human activities might interfere with the whale's acoustic behavior. This research looks to establish if among mothers with calves and solitary whales (demographic groups). During the winter seasons of 2008, 2009, and 2010, 24 tags (Bio-Probe) were attached for the first time to gray whales, recording sound, and static pressure as an indication of depth. A total of 1591 minutes were recorded and 1255 calls were identified and classified into 5 types, namely *CONGA*, *QUEJIDO*, *PURR*, *CROAC*, and *RONRONEO*. This study found a relationship between call production and water column strata depending on call type. When calls were differentiated between mothers with calves and solitary whales it was found that both demographic groups produced all 5 call types described and that call production was predominant at the surface, although solitary whales called more often at the bottom than mothers with calves. The most common call for both demographic groups was the *CONGA*, but the rest of the call types were produced differentially by both demographic groups. The *CONGA* call structure analysis showed statistically significant differences among demographic groups for the following parameters: Minimum frequency, low-maximum



frequency, and number of pulses. Call type *RONRONEO* was mainly produced by solitary whales rather than by mothers with calves and has not been previously reported for this species. The results of this study indicate that both gray whale demographic groups use calls similarly. Calls were mainly produced at the surface probably because both demographic groups need to stay close to it to breathe. Solitary whale emitted calls at the bottom probably to avoid ambient noise that is higher at the surface. This study obtained a better understanding of the acoustic communication in gray whales, which could help in preventing potential negative effects on the behavior of the species, and implementing appropriate management and conservation measures in key areas for the protection of this species, such as the biosphere reserve of Laguna San Ignacio.



Introducción

La ballena gris, *Eschrichtius robustus* es la única especie de la familia Eschrichtiidae. En la actualidad, esta ballena habita sólo en el Océano Pacífico Norte, y se encuentra representada por dos poblaciones, la casi extinta población asiática y la más conocida población americana (Rice y Wolman 1971). Existen registros de que esta especie se distribuyó en el Océano Atlántico Norte, aunque actualmente ya no se distribuye en esa área (Barnes *et al.* 1985).

La ballena gris pasa los meses de verano del hemisferio norte en dos zonas de alimentación en el Océano Pacífico, el sur del Mar de Chukchi y el norte del Mar de Bering, frente a la Península de Alaska (Kim y Oliver 1989). En el invierno, realiza una migración hacia el sur de más de 8,000 km en grupos segregados por sexo y edad siguiendo la línea de costa hasta el occidente de la Península de Baja California, México, las zonas de crianza y reproducción. Estas ballenas presentan sus mayores concentraciones en la Laguna Ojo de Liebre, Laguna San Ignacio y Bahía Magdalena (Rice y Wolman 1971), siendo la Laguna San Ignacio la tercera laguna más visitada por la ballena gris, además de ser la única de estas tres lagunas que se mantiene con muy poca intervención humana (Dedina y Young 1995; Gómez- Gallardo 2004).

Esta especie fue cazada intensivamente durante el siglo XIX y principios del XX, por balleneros estadounidenses, noruegos, ingleses y rusos. Henderson (1984) realizó una estimación para los años 1846 a 1874 donde obtuvo que aproximadamente 7,200 ballenas grises fueron cazadas en Baja California, principalmente en las tres lagunas anteriormente mencionadas. Actualmente, se piensa que esta población se ha recuperado notablemente, gracias a la implementación de medidas de conservación (Urbán *et al.* 2003).



Desde 1930, la ballena gris se encuentra protegida por la Comisión Ballenera Internacional (IWC: International Whaling Commission), de la que México forma parte. Esto dio como resultado un incremento importante en el número de ballenas, presentando así una notoria recuperación. En el caso particular del Pacífico Mexicano, se considera que la recuperación de esta especie está directamente relacionada con las acciones de conservación que se han implementado desde hace ya varios años (Reeves 1984; Urbán *et al.* 2003).

La ballena gris es costera, tanto en sus zonas de alimentación, rutas migratorias y zonas de crianza y reproducción, este es un factor que facilita el estudio de esta ballena. Diversos aspectos de la biología de estos animales han sido objeto de estudio, entre ellos esta su distribución y abundancia (Fleischer y Beddington 1985; Gard 1974).

La acústica en los mamíferos marinos, especialmente en cetáceos, constituye uno de los procesos de audición más importantes. El agua provee un buen medio para la propagación y recepción del sonido. Los mamíferos marinos dependen de señales acústicas para el conocimiento de su espacio y para la obtención de su presa o de alerta ante un depredador. Una reducción en la transmisión acústica y/o recepción puede tener un efecto en la reproducción o sobrevivencia de la especie (Dahlheim 1987).

La ballena gris al igual que otros cetáceos utilizan el sonido para obtener información de su entorno así como para comunicarse con sus co-específicos. Por lo que el ruido antropogénico puede tener gran impacto sobre el ambiente de los cetáceos, provocando interrupciones sobre sus actividades, ya sea de interacción social (reproducción o crianza) y alimentación (Richardson y Greene 1995). La contaminación acústica se ha hecho presente en las zonas de crianza y reproducción de la ballena



gris, debido al crecimiento del turismo, el cual acude a observar a estos animales en sus ambientes naturales, trayendo consigo un aumento en el tráfico de embarcaciones turísticas y el consiguiente incremento del ruido derivado de las actividades antropogénicas (Gómez- Gallardo 2004).

Diversos estudios sobre el efecto negativo del ruido antropogénico en distintas especies de mamíferos marinos, indican que pueden existir daños físicos, como son daño al oído y pérdida de la sensibilidad auditiva. El estrés por ruido ambiental, puede provocar un desbalance hormonal, lo que puede afectar la reproducción de estos animales (Richardson y Greene 1995). Este ruido también puede interferir y/o enmascarar las señales acústicas de los mamíferos marinos. Además se ha sugerido que el ruido antropogénico presenta cambios en la estructura y frecuencia de las llamadas, en varias especies (Dalheim 1987).

Los estudios de acústica relacionados con ballena gris, indican que esta especie emite sonidos tanto de día como de noche (Guerra *et al.* 2005), produciendo varias llamadas en un ancho de banda de baja frecuencia en un rango de 50 Hz a 2 kHz pudiendo ir hasta los 12 kHz. El sonido más común en las zonas de alimentación en el Ártico y en las zonas de crianza son, señales de pulsos, que van de 50 Hz a 800 Hz (Richardson y Greene 1995).

Los esfuerzos por conocer la acústica de la ballena gris han sido amplios, explorando desde sus áreas de alimentación (Moore *et al.* 2003), su ruta migratoria (Gilmore 1960; Leatherwood 1974) hasta sus áreas de crianza y reproducción (Dahlheim 1987; Wisdom 2000). Sin embargo quedan varias incógnitas por resolver principalmente en lo relacionado a conductas específicas de los individuos, con las vocalizaciones emitidas por el animal (Ollervides y Rohrkasse 2007).



Antecedentes

El uso de la acústica para el estudio de diversos factores como son: capacidad auditiva, producción de sonidos, comunicación, conducta e historia natural; contribuye a un mejor conocimiento de la ecología y las necesidades de los mamíferos marinos. Así diversos estudios sobre la acústica tanto en odontocetos como en mysticetos, se han llevado a cabo con la finalidad de mejorar el conocimiento que tenemos de estos animales (Au y Hastings 2008).

En las orcas (*Orcinus orca*), los aspectos de transmisión cultural han sido objeto de mucho interés, y se ha observado que las llamadas más comunes utilizadas por un matriarcado, presentan poca variación estructural, lo que puede estar relacionado a una transmisión genética a nivel de comunicación. La variación en las señales vocales en poblaciones y/o grupos de animales provee de información para el estudio del mecanismo de cambios en la conducta y su impacto en las próximas generaciones. La relación de las vocalizaciones entre miembros de diferentes matriarcados, puede sugerir que el aprendizaje vocal no está limitado a una transmisión de madre a su descendencia sino también de interacciones con el entorno (Deecke *et al.* 2000).

Se ha sugerido que los cetáceos utilizan sus llamadas para comunicarse entre co-específicos. Un ejemplo de ello es la ballena azul (*Baleanoptera musculus*) cuyo repertorio incluye llamadas continuas, intensas y de larga duración (Aroyan *et al.* 2000), un ejemplo es la llamada conocida como tipo *D*, la cual ocurre usualmente cuando se encuentran un par de ballenas. De forma ocasional se ha observado que cuando se presentan más de dos ballenas, se mezclan dos o más tipos de llamadas (Mc Donald *et al.* 2001).



Se ha sugerido que algunas vocalizaciones pueden estar relacionadas con una conducta específica, ya sea de crianza, alimentación o reproducción. Payne y McVay (1971), describieron por primera vez la canción de la ballena jorobada (*Megaptera noveangliae*), la cual fue definida como una serie de sonidos sucesivos que conforman una secuencia con una duración de 5 a 20 min y que presenta una repetición cíclica (Payne y Vay 1971; Winn y Winn 1978). Este canto es producido sólo por los machos (Winn y Winn 1978) principalmente en invierno, cuando se llevan a cabo las actividades reproductivas de esta especie. Lo que sugiere que el canto es utilizado por los machos con fines reproductivos (Payne y Vay 1971). Al igual que la ballena jorobada, el rorcual común (*Balaenoptera physalus*) presenta una llamada del tipo *DOBLE* que sólo es producida por los machos. En la ballena azul (*B. musculus*) la llamada *BROADCAST*, presenta un patrón de algunas horas, con pausas que se presentan cuando el animal se mueve hacia la superficie. Esta vocalización también es producida sólo por los machos (Mc Donald *et al.* 2001).

Los primeros estudios realizados acerca de las llamadas producidas por la ballena gris, fueron realizados en el año de 1966 por Carl Hubbs y Hubbs, (Hubbs y Hubbs 1966). Dahlheim (1987) retomó el estudio de la acústica de esta especie, dando a conocer un repertorio de 6 vocalizaciones. Además propuso el uso de diferentes parámetros de las vocalizaciones para diferenciarlas: el rango de frecuencia, duración, número de pulsos y pulsos por segundo. También Dahlheim (1987) realizó estudios de acústica activa utilizando sonidos artificiales de llamadas de la misma especie y vocalizaciones de depredadores como las orcas (*O. orca*), y concluyó que las ballenas dependen de señales acústicas para el conocimiento de su espacio y para desarrollar funciones vitales como son la obtención de presas, estar alerta ante la presencia de depredadores, entre otras.



El mismo autor también describió que la ballena gris presentó periodos de silencio ante la presencia de sonidos de orcas (*O. orca*), y una mayor tasa de vocalización con sonidos de sus co-específicos (Dahlheim 1987).

Varios estudios han sido propuestos para conocer la relación de las llamadas con la conducta de la ballena gris. Wisdom (2000) analizó el desarrollo de los sonidos de esta especie y dio a conocer la importancia de la producción vocal en madres con cría, durante el periodo de crianza en la Laguna San Ignacio e indicó el papel relevante que juegan las fonaciones del adulto en el desarrollo vocal de las crías (Wisdom 2000).

La ballena gris presenta hábitos costeros, lo que la hace susceptible y vulnerable a un ambiente acústico dinámico, debido a ello, esta especie ha sido objeto de estudio con respecto al impacto que el ruido antropogénico puede provocar en ella (Jones *et al.* 1984). Uno de estos proyectos fue realizado por Ollervides y Rohrkasse (2007) quienes estudiaron el impacto del ruido de embarcaciones en las señales acústicas de este animal. Concluyeron que el tráfico de embarcaciones tiene efectos negativos en la reproducción de estos organismos, así como en las llamadas y la tasa de vocalización ya que estas cambian con la presencia del ruido de botes. Dicho trabajo identificó 5 tipos de señales producidas por esta ballena, que no se habían descrito anteriormente. Este trabajo menciona lo difícil que es documentar la relación de una conducta específica con cada tipo de señal ya que éstas no se agrupan en categorías definidas (Ollervides y Rohrkasse 2007).

Desde el año 2005 los investigadores Aaron Thode y Melania Guerra, del (SCRIPPS por sus siglas en inglés) Institution of Oceanography de la Universidad de California, realizan mediciones acústicas de las vocalizaciones de la ballena gris y de la propagación de estos sonidos en las aguas de la Laguna San Ignacio, utilizando dos



arreglos con instrumentos autónomos. El presente proyecto forma parte de este esfuerzo (Guerra 2009).

Esta investigación consistió en analizar la estructura de las llamadas producidas por la ballena gris en la Laguna San Ignacio y relacionar estas con un grupo demográfico específico (madres con cría o solitarios), además se analizó la producción de llamadas y su posición en la columna de agua, para poder conocer el uso que le da este animal a sus vocalizaciones y describir su zona preferente para producir las fonaciones.

El uso de la marca acústica B-Probe, por primera vez en la ballena gris, proporcionó datos más específicos y de mayor precisión acerca de las llamadas realizadas por esta ballena. Lo que permitió tener un mayor conocimiento acerca de la comunicación acústica de esta especie, ayudando a la prevención de algún tipo de impacto en la conducta de este animal, que puede ser provocado por el aumento del ruido antropogénico en la Laguna. El entendimiento de la acústica de la ballena gris es necesario para tomar medidas de manejo y conservación apropiadas, para poder mantener la protección de áreas que son claves en la preservación de esta especie, en la Reserva de la Biosfera El Vizcaíno.



Objetivos

Objetivo general

☉ Describir y comparar las llamadas de la ballena gris de acuerdo a la posición en la columna de agua de la ballena que las produjo y al grupo demográfico al que pertenece la ballena (madres con cría o solitarios).

Objetivos particulares

☉ Determinar las diferencias en la posición en la columna de agua en la que la ballena emite sus llamadas considerando dos grupos demográficos (madres con cría y solitarios).

☉ Determinar si los tipos de llamadas son emitidos de igual manera en la columna de agua considerando dos grupos demográficos (madres con cría y solitarios).

☉ Determinar las diferencias en el tipo y número de llamadas que emiten los dos grupos demográficos (madres con cría y solitarios) sin importar la posición en la columna de agua en la que la ballena emitió sus llamadas.



Área de estudio

Ubicación

La Laguna San Ignacio se encuentra localizada en la costa occidental de la Península de Baja California. En una planicie costera rodeada por cadenas montañosas. La boca de esta laguna se abre hacia la Bahía de Ballenas y se encuentra protegida del océano abierto por la Isla Ana. Su costa se compone de playas arenosas, conglomerados de roca, conchas, mangles, pantanos y planicies de lodo y sal (Figura 1) (Dedina y Young 1995).

Dimensiones

La laguna y el océano están comunicados mediante un sistema de canales, que son mantenidos por fuertes corrientes de marea, característica por la cual las propiedades de temperatura y salinidad del agua de la laguna son significativamente distintas de las propiedades del agua del océano abierto. La circulación dentro de la laguna es afectada por procesos como, corrientes de marea y la fuerza del viento y profundidad (Winant y Gutiérrez de Velasco 1999).

En el interior de la laguna se tiene una cuenca y un sistema de canales separados por bajos. Gran parte de la laguna es somera y las zonas que son profundas varían desde los 20 metros (m) (en la zona cerca de la boca) hasta menos de 2 m (en las zonas más internas de la laguna).

Debido a que se encuentran planicies muy someras en las costas, las ballenas se localizan a las zonas centrales y aunque la superficie de la laguna es de 152 km², sólo cerca de 87 km² (57%) son lo suficientemente profundos (> 2 m) para que puedan ser navegados por estos animales (Jones y Swartz 1984).



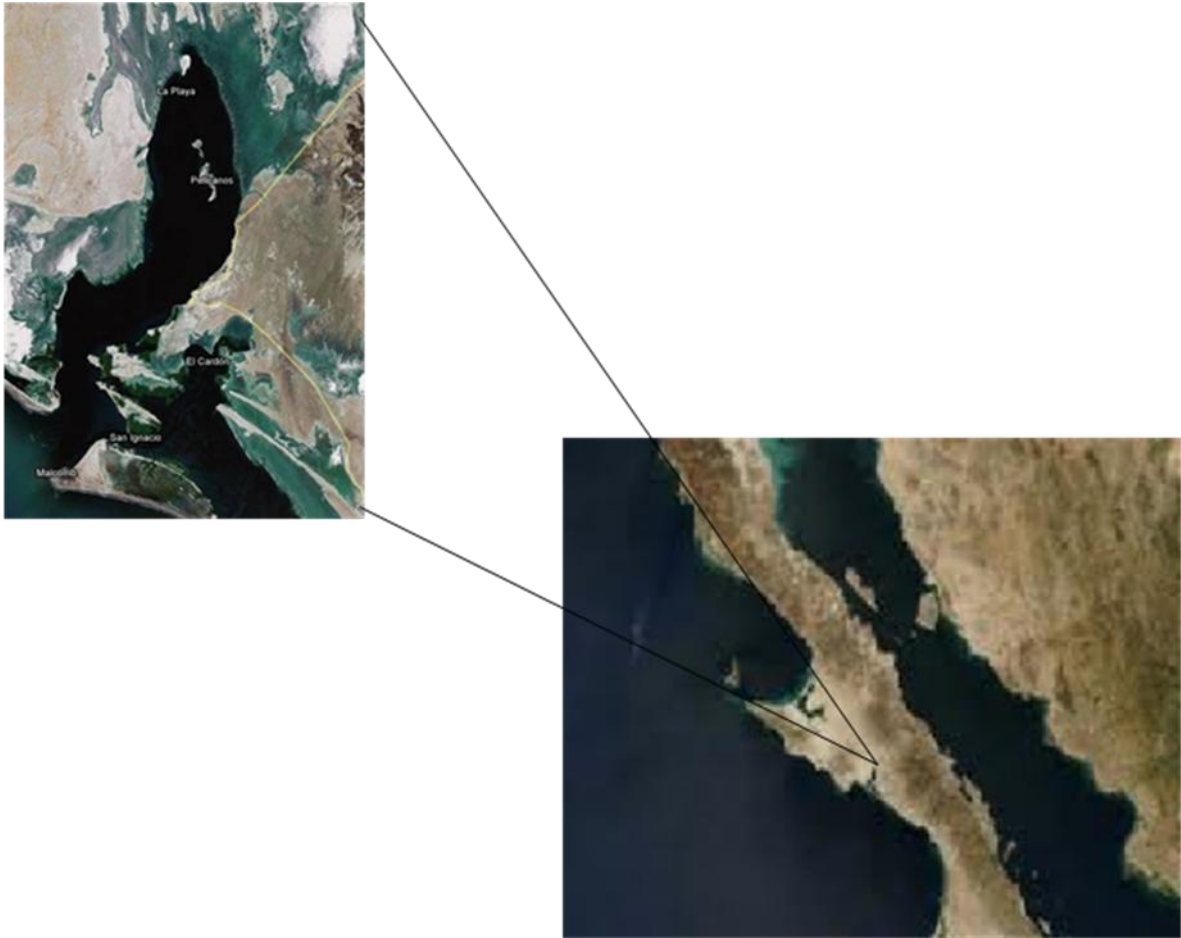


Figura 1. Imagen satelital, donde se muestra la ubicación de la Laguna San Ignacio, situada en la península de Baja California. Imagen digital 2010. Tecnología europea, INEGI, Google.

Batimetría

Debido a las características de la laguna se ha zonificado en las siguientes áreas: Zona de la Boca o Zona Inferior, Zona Media y Zona Superior (Jones y Swartz 1984).

La Zona Inferior presenta un delta de mareas formado por la alternancia de bancos y canales arenosos irregulares, proyectados hacia la bahía. El área inferior contigua a la boca es somera, mientras que en la parte central de la zona inferior tiene un canal principal de aproximadamente 30.0 m de profundidad, que se prolonga hacia el área media haciéndose más somero (Winant y Gutiérrez de Velasco 1999).



En la Zona Media, el fondo es más irregular, se observa una prolongación del canal principal y hacia ambos flancos de éste, se presentan bancos arenosos y canales alternados, con una alineación sobre el eje principal de la laguna. En la porción al oeste de las islas el fondo es somero y muy regular; mientras que en la porción este el fondo es irregular, con bancos arenosos con predominio de fragmentos de conchas (Winant y Gutiérrez de Velasco 1999).

En la Zona Superior, el fondo es muy regular y somero. En la franja litoral los ambientes de depósito más evidente son los salitrales y las planicies de inundación que bordean toda la zona, presenta también acantilados, escarpes de erosión, playas arenosas, dunas aisladas y marismas (Winant y Gutiérrez de Velasco 1999).

El presente estudio se realizó utilizando dos zonas de la laguna: la Zona Media y la Zona Inferior o Boca (Figura 2).

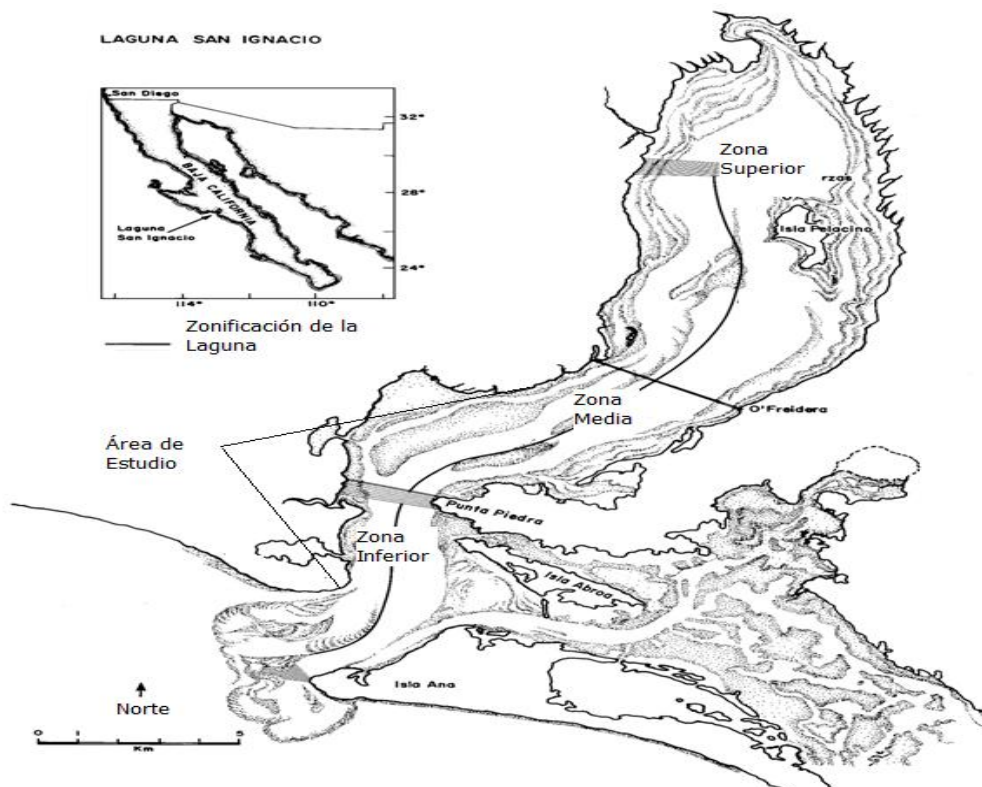


Figura 2. Mapa de la Laguna San Ignacio, que muestra las divisiones de la laguna, mostrando la zona media e inferior y área de estudio. Mapa de Steven Swartz.



Salinidad

La Laguna San Ignacio es una laguna hipersalina. En una laguna hipersalina, la diferencia de densidad es un factor importante en el proceso del intercambio de agua. El agua más densa se transporta por el fondo hacia el océano mientras que el agua menos densa es transportada hacia el interior de la laguna a nivel superficial. La salinidad que presenta la Zona Superior de la laguna durante el invierno alcanza los 40 ‰, mientras que durante el otoño se reduce a 39 ‰, mostrando una disminución gradual hacia la boca. La salinidad de la laguna depende de las estaciones del año y, como resultado, de la evaporación y la mezcla inducida por la marea y el viento (Winant y Gutiérrez de Velasco 1999).

Vientos y mareas

Dado la dirección predominante del viento en la Laguna San Ignacio las corrientes en la zona norte van dirigidas hacia el océano en las partes someras y en dirección contraria en los canales (Winant y Gutiérrez de Velasco 1999).

Durante el reflujo de marea las aguas de la laguna presentan mayor salinidad con respecto al océano, dando como resultado que una masa de agua con propiedades del océano sea introducida en la laguna, cada ciclo de marea. Este mecanismo es conocido como bombeo de marea (Winant y Gutiérrez de Velasco 1999).



Método

Trabajo en campo

Las llamadas de las ballenas se grabaron en la Laguna San Ignacio del 01 al 07 de marzo del 2008, del 15 al 21 de marzo en el 2009 y del 28 de febrero al 03 de marzo del 2010. Las grabaciones se realizaron por medio de un instrumento que incluye la marca B-probe (Figura 3), que combina un hidrófono, un transductor de presión, acelerómetros, sensores ambientales, grabadora digital y baterías de litio, propiedad del Laboratorio de Física del Instituto de Oceanografía de la Universidad de California en San Diego (SCRIPPS, por sus siglas en inglés). La marca B-probe, además de dar información de datos acústicos, proporciona información de los movimientos de la ballena en los ejes horizontal y vertical, de los cambios de presión a los que se somete (profundidad) y de la temperatura del agua. Las marcas fueron programadas por medio de su puerto infrarrojo para muestrear a una tasa de 6553 Hz en el año 2008 y a 4096 Hz en el 2009 y 2010. Además de la tasa de muestreo, también se programó la hora de inicio de la grabación y se puso el valor de la presión en cero. Los datos almacenados se transfirieron a una computadora por medio del puerto infrarrojo.

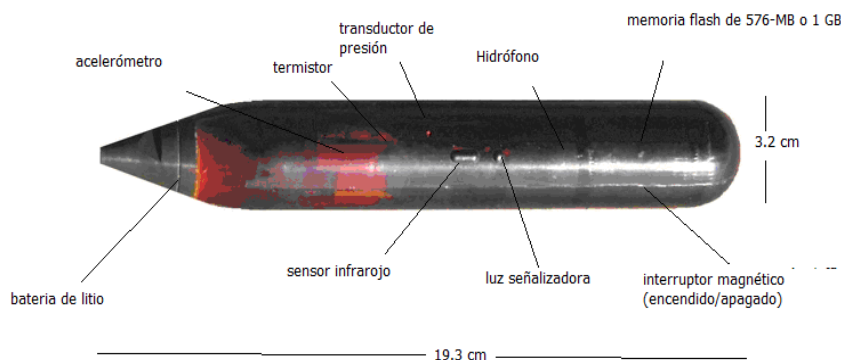


Figura 3. Marca B-Probe utilizada para registrar datos acústicos, posicionales y datos ambientales.



La marca fue colocada frente al flotador, el cual mide aproximadamente 20 cm, que se pintó de color naranja fluorescente para facilitar la visibilidad de la marca en el agua o en áreas terrestres (Figura 4). Dentro del flotador se encontraba un transmisor VHF, que consta de una antena que mide aproximadamente 30 cm. El transmisor emitió una onda de radio que fue captada por la antena Yagi para facilitar la recaptura de la marca. Todo el instrumento contaba con ventosas que sirvieron para fijar la marca a la ballena.



Figura 4. Instrumento con ventosas, unidas al aparato por medio de cinta de aislar y ajustadas con cinturones de plástico y un tubo telescópico de 2-6 m de largo que presenta en su extremo una abrazadera que sostiene la marca.

La colocación de las marcas sobre las ballenas se realizó desde una embarcación con 7 metros de eslora y motor fuera de borda de cuatro tiempos de 75 HP, propiedad del laboratorio de Mamíferos Marinos de la Universidad Autónoma de Baja California Sur. Para colocar la marca se realizó el seguimiento de la ballena por un periodo de 40 minutos a 1 hora con la finalidad de que la ballena se familiarizará a la presencia del bote. Cuando la ballena no presentó señales de estrés o evasión por la presencia humana, la marca fue colocada en su parte dorsal debido a que es la parte



más expuesta cuando la ballena sale a respirar permitiendo que la marca quedara sobre la superficie del agua, lo que facilitó encontrar al animal cuando éste se perdió de vista (Figura 5).



Figura 5. Colocación de la marca en la parte dorsal de la ballena, cuando la ballena estaba relajada y el instrumento estaba listo.

Cuando la colocación de la marca resultó exitosa se recabaron los siguientes datos: hora en la que se colocó la marca, posición geográfica del lugar donde se colocó la marca, temperatura, profundidad y reacción inmediata de la ballena (p.ej. coletazos, cambio de rumbo, etc.). Además se anotó qué tipo de ballena era la que tenía la marca, ya fuera una ballena acompañada de una cría (grupo demográfico de madres con cría) o una ballena sola (grupo demográfico de solitarios). Sólo una ballena se marcó a la vez para seguirla el mayor tiempo posible, observar si la marca provocó alteración en la conducta, es decir si la ballena siguió con el mismo comportamiento que tenía antes de que la marca le fuera colocada y para tomar los datos de GPS del trayecto del animal. Las observaciones y el seguimiento a la ballena se realizaron manteniendo una distancia de 100-300 m.



Cuando fue posible, el motor fue apagado para que el ruido del bote no interfiriera con la grabación de la marca. Durante el seguimiento de la ballena se tomaron notas sobre datos relevantes como comportamiento de la ballena, es decir, si se agrupó con otras ballenas o si algunos botes transitaron cerca de ella. Los datos de comportamiento fueron recopilados con la finalidad de tener la mayor cantidad de información asociada con los sonidos biológicos y el ruido antropogénico que pudieron ser captados por la marca. Estas notas fueron utilizadas sólo cuando se tuvo duda de algún sonido encontrado en los archivos de sonido, no para fines de análisis estadísticos.

En algunas ocasiones los esfuerzos del seguimiento de la ballena fueron interrumpidos por mal tiempo o porque el tiempo para estar en la zona de observación de la laguna se terminó y se tuvo que regresar al campamento. En estos casos se anotó la última hora y posición geográfica donde se vio a la ballena marcada y al día siguiente se reanudó el esfuerzo en ese mismo punto. Para el rastreo de la marca se utilizó una antena Yagi y un receptor modelo R410 el cual se sintonizó a la frecuencia del transmisor VHF de la marca (Figura 6). Se hizo un barrido de 360° con la antena Yagi apuntando hacia arriba desde la proa del bote.



Figura 6. Rastreo de la marca Bio-Probe que fue colocada en la ballena, utilizando una antena Yagi desde el bote.



Una vez encontrada la señal del transmisor, el bote se dirigió al lugar donde el sonido era más claro y constante, para recuperar la marca. Cuando se recuperó ésta, se limpió con agua dulce removiendo la arena y se desarmó rompiendo los cinturones de plástico y la cinta de aislar. El transmisor fue extraído del flotador y apagado usando un imán. Finalmente, la marca B-Probe se desactivó utilizando el puerto infrarrojo y se anotó la hora final de la grabación.

Definición de los estratos en la columna de agua

Se definieron 3 estratos en la columna de agua para determinar en qué lugar de la columna de agua las ballenas emitieron sus llamadas: estrato de superficie (0-5m), estrato medio (5-10m) y estrato de fondo (10m a más). Para determinar cuál era la profundidad máxima o el fondo por donde navegaron las ballenas muestreadas se midió la posición de las ballenas utilizando un GPS mientras se seguía a la ballena marcada. Los registros del GPS se ubicaron en un mapa batimétrico de la laguna para determinar la ruta de navegación de la ballena. A cada registro del GPS se le asignó la profundidad correspondiente en el mapa batimétrico y se sacó tanto el máximo de todas las profundidades obtenidas para cada ballena, como el promedio de todos los máximos de profundidad por ballena. Este promedio fue el valor de profundidad del fondo de la columna de agua que se utilizó para determinar cuál era la profundidad máxima promedio donde navegaron las ballenas y poder compararlo con el valor de 10 m que se utilizó para definir el estrato de fondo.

Para ubicar la profundidad a la que se encontraron las ballenas en el momento de hacer las llamadas se usaron los registros de presión que la marca registró cuando estuvo sobre la ballena, utilizando la gráfica proporcionada por la



rutina *mt_viewer* producida para todos los datos de presión registrados por la marca. Se sincronizaron los datos de presión y de la ocurrencia de las llamadas en el tiempo, vistas en los espectrogramas, para obtener la profundidad a la cual la ballena produjo dicha llamada. Este dato permitió saber qué estrato de la columna de agua fue utilizado por la ballena al realizar la llamada (Figura 7).

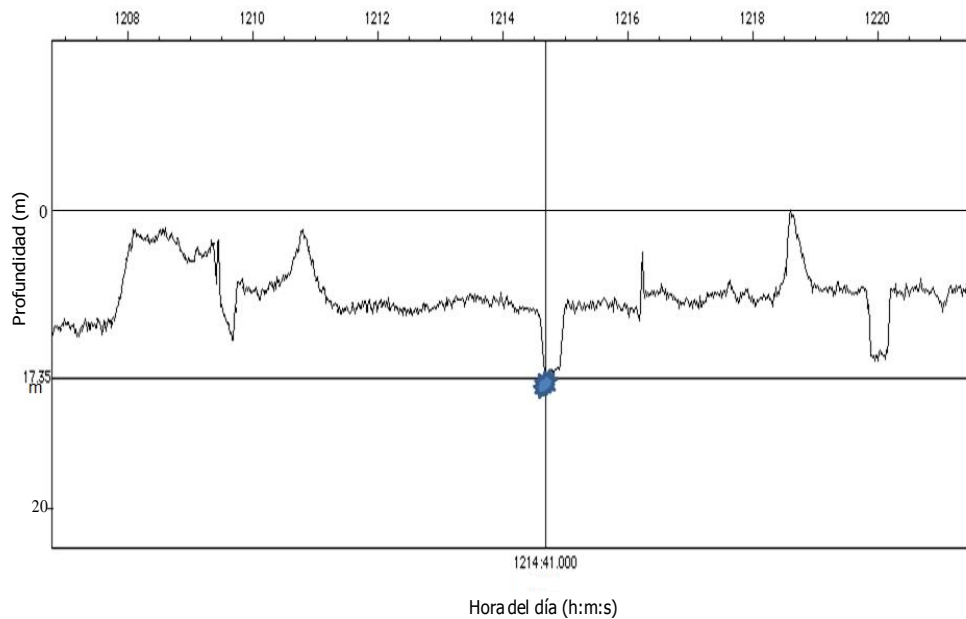


Figura 7. Gráfica que muestra los movimientos de la ballena sobre la columna de agua en el tiempo. El punto azul indica la presencia de una llamada de la ballena gris a las 12:14:41 pm a 17.35 m de profundidad.

Análisis de los datos acústicos

En el laboratorio, los datos registrados en la marca se transfirieron a la computadora por medio del puerto infrarrojo y utilizando rutinas en lenguaje Matlab diseñadas por el Dr. Aaron Thode del SCRIPPS. Se utilizó la rutina *mt_spectrogram_viewer* para extraer y visualizar las vocalizaciones registradas en los archivos de sonido que se grabaron en la marca. El primer análisis de los archivos de sonido se hizo de forma visual y auditiva, utilizando una interfase gráfica "GUI". Se generaron espectrogramas (Figura 8) con la rutina *mt_specgram_viewer* de segmentos



de grabación de una hora utilizando una transformada rápida de Fourier (FFT) de 256 puntos, 50% de traslape y con una ventana Hanning. El espectrograma se inspeccionó utilizando ventanas de 10 segundos con un ancho de banda de 0 a 1 kHz. Cuando se encontraron llamadas con un ancho de banda mayor a 1kHz, la escala se incrementó a 2kHz. Todos los espectrogramas que se generaron para el análisis acústico se realizaron con los mismos parámetros y se inspeccionaron con la misma precisión con la finalidad de no sesgar la percepción de las llamadas.

División de las vocalizaciones en pulsadas y de frecuencia modulada

Las llamadas de la ballena gris se dividieron en tipos porque otros estudios así lo realizaron (Dahlheim 1987, Wisdom 2000). El intervalo mínimo de tiempo para diferenciar una llamada de otra fue de 1 segundo, es decir, que el silencio mínimo entre llamada fue de 1 segundo. Las llamadas fueron divididas en pulsadas y de frecuencia modulada. Esta división se realizó de forma visual utilizando, el espectrograma. Cuando en la llamada se observaban pulsos, fue catalogada como pulsada. Si se observaban armónicos, la llamada fue catalogada como de frecuencia modulada.

Para determinar los tipos de vocalizaciones de las llamadas pulsadas se consideró cómo se oían y se utilizaron como referencia los espectrogramas de los repertorios reportados por Dahlheim (1987), que contenía 6 llamadas pulsadas, y por Wisdom (2000), que contenía 5 llamadas pulsadas. Entonces, se compararon los repertorios reportados por Dahlheim (1987) y Wisdom (2000) con el obtenido por este estudio.



Medición de los parámetros acústicos de las llamadas

A todas las llamadas, ya fueran pulsadas o de frecuencia modulada, se les midieron parámetros acústicos (características espectro-temporales) usando la rutina *Allfile_specgram_viewer*. Para las llamadas pulsadas se midió la duración de la llamada, la frecuencia mínima y la frecuencia máxima, se realizó el conteo del número de pulsos de forma visual (Figura 8, Cuadro 1) y se midió la frecuencia baja-máxima (Figura 8, Cuadro 1). Para las llamadas de frecuencia modulada se midió la duración de la llamada, la frecuencia mínima, la frecuencia máxima y el número de armónicos presentes (Figura 9, Cuadro 1). Con los datos medidos se generaron bases de datos en Excel y Matlab y se calcularon los promedios para cada una de las mediciones realizadas para cada tipo de llamada y se compararon con los valores reportados por Dahlheim (1987) y Wisdom (2000) para el mismo tipo de llamada.

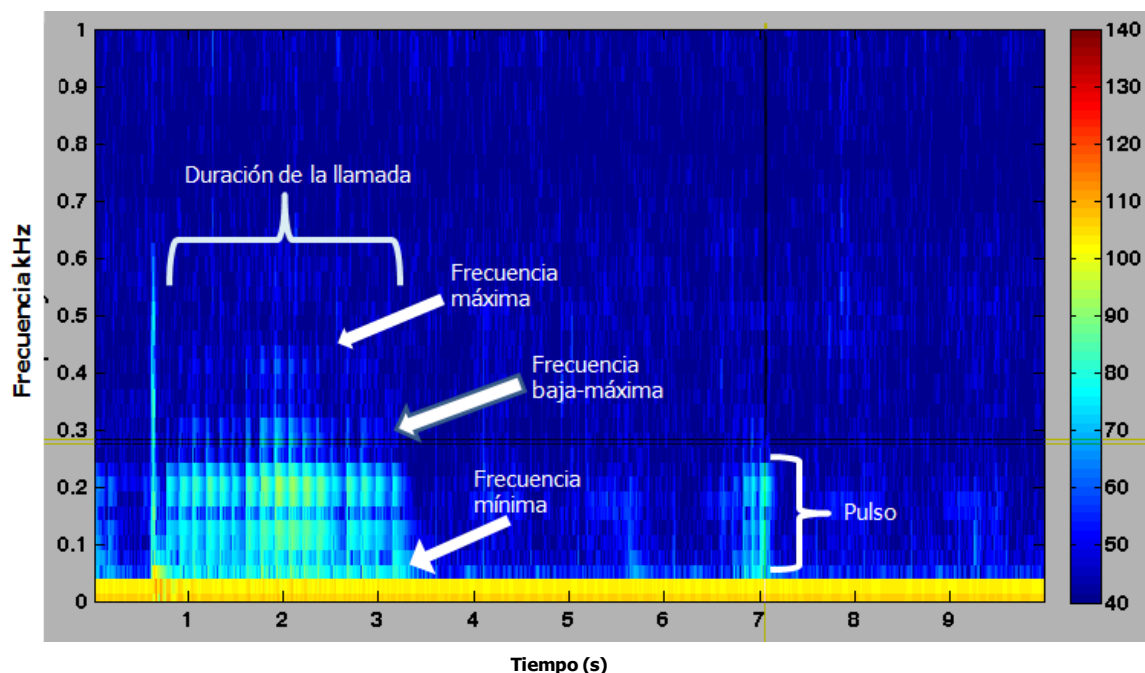


Figura 8. Espectrograma de una llamada pulsada de ballena gris generado con la rutina *Allfile_specgram_viewer*, donde se muestran los parámetros de la estructura de la llamada que fueron medidos para las llamadas pulsadas tipo *CONGA*, *CROAC*, *QUEJIDO* y *PURR*. La escala de colores a la derecha es el nivel de intensidad en dB re 1 μPa.



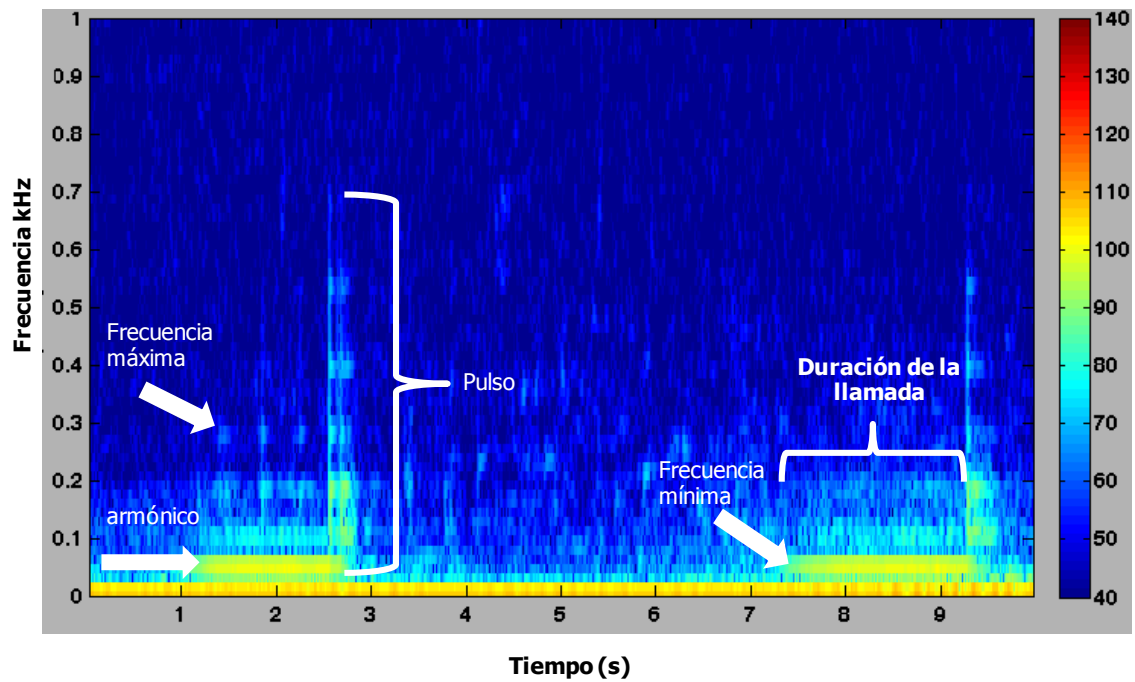


Figura 9. Espectrograma de una llamada de frecuencia modulada de ballena gris, generado con la rutina *Allfile_specgram_viewer*, donde se muestran los parámetros de la estructura de la llamada que fueron medidos para las llamadas de frecuencia modulada tipo *RONRONEO*. La escala de colores a la derecha es el nivel de intensidad en dB re 1 μ Pa. Esta llamada de frecuencia modulada, estuvo acompañada de una llamada pulsada *CONGA* donde se escribió "Pulso".

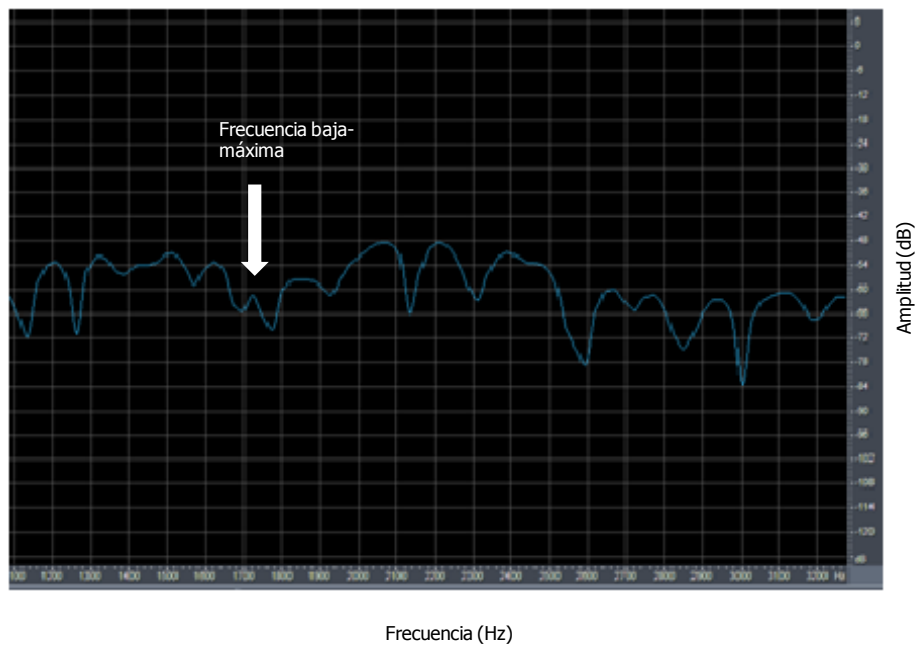


Figura 10. Espectro (frecuencia vs amplitud) de la llamada tipo *CONGA*. Se muestra el pico que presentó la menor energía dentro de las frecuencias altas, representado como el parámetro de frecuencia baja-máxima.



Cuadro 1. Parámetros acústicos medidos para las llamadas de la ballena gris utilizando el espectrograma y la rutina *Allfile_specgram_viewer*

Parámetro acústico	Descripción
Frecuencia mínima	Se colocó el cursor en el nivel más bajo de energía que se observó en el espectrograma y utilizando la rutina <i>Allfile_specgram_viewer</i> se obtuvo el dato numérico de este parámetro. Cabe mencionar que el valor de esta frecuencia mínima está determinado por la frecuencia máxima del ruido del motor.
Frecuencia máxima	Se tomó el nivel más alto de energía obtenido en el espectrograma y en esta área se colocó el cursor para obtener el dato numérico de este parámetro.
Frecuencia baja-máxima	Es la frecuencia máxima con la menor energía del espectro del pulso. El valor numérico de este parámetro se obtuvo utilizando la rutina <i>Allfile_specgram_viewer</i> , al colocar el cursor en el punto mostrado en la Figura 10.
Duración de la llamada	Se tomó el intervalo de tiempo desde el inicio de la llamada hasta el final de la misma.
Número de pulsos	Este valor se obtuvo de forma visual, ya que la rutina <i>Allfile_specgram_viewer</i> no daba este dato. Se contaron el total de pulsos observados a lo largo de la duración de la llamada.
Número de armónicos	Esta medición se hizo de forma visual, contando el total de armónicos observados en la llamada.



Análisis estadístico

Primero se determinó si las vocalizaciones eran dependientes de un estrato específico de la columna de agua: si existían diferencias en el número de llamadas de acuerdo al estrato de la columna en el que se encontraba la ballena, si existían diferencias en el número de llamadas de acuerdo al estrato de la columna en el que se encontraba la ballena para cada uno de los grupos demográficos y si existían diferencias en el número de llamadas de cada tipo de acuerdo al estrato de la columna en el que se encontraba la ballena. Para hacer este análisis se utilizó el total de llamadas grabadas en cada estrato considerando cada tipo de llamada producida por cada grupo demográfico para realizar una prueba X^2 .

También se determinó si existían diferencias en el uso que le daban a las llamadas las madres con cría y los solitarios (grupo demográfico) de acuerdo al tipo de llamada. Para esto se utilizó la ocurrencia de cada tipo de llamada por grupo demográfico.

Además se compararon las características acústicas por tipo de llamada de acuerdo al grupo demográfico. Primero se realizó una prueba de normalidad y homocedasticidad para determinar el tipo de prueba a utilizar, ya fuera paramétrica o no paramétrica. Entonces, se realizó un Análisis de Varianza, ANOVA ya fuera paramétrico o no paramétrico, para determinar si había diferencias significativas en los parámetros de la estructura de la llamada por grupo demográfico.

Finalmente, se comparó la tasa de emisión de llamadas por grupo demográfico. Para esto se utilizó el total de llamadas encontradas en la marca dividido entre el tiempo en minutos que duró la marca sobre la ballena.



Resultados

Para los años 2008, 2009 y 2010 se colocaron 24 marcas con un total de 405 horas de esfuerzo, de las cuales únicamente en 17 se registraron sonidos de ballenas: 9 fueron en madres con cría, 5 en solitarios y 3 en crías con madre (Cuadro 2). Con estas 17 marcas se grabaron un total de 1591 minutos, donde se encontraron 1255 llamadas. Además, para 8 de las 17 marcas que registraron sonidos de ballenas también se tuvieron datos de posiciones con el GPS (Cuadro 2). Dado que las marcas colocadas en las crías no permitieron hacer una comparación debido a la poca cantidad de registros, para el análisis sólo se usaron las marcas colocadas en las madres y en los solitarios, un total de 14 marcas con 1178 llamadas (Cuadro 2).

Cuadro 2. Información general de los datos recolectados por este estudio utilizando 17 marcas.

Número de ballena	Ballenas marcadas	Grupo demográfico	Tiempo de la marca sobre la ballena (min)	Número de llamadas de acuerdo al estrato			Total de llamadas	Datos de GPS
				Superficie	Medio	Fondo		
1	Astrid 01/03/2008	solitario	10	7	0	0	7	NO
2	Hector 01/03/2008	solitario	168	125	29	0	154	SI
3	Cheba 01/03/2008	madre con cría	6	0	0	0	0	NO
4	Doris 02/03/2008	madre con cría	32	3	3	0	6	NO
5	Ema 02/03/2008	madre con cría	15	2	2	0	4	SI
6	Jaz 05/03/2008	madre con cría	22	20	27	4	51	NO
7	Maricela 06/03/2008	madre con cría	68	67	2	1	70	SI
8	Nel 07/03/2008	madre con cría	3	7	0	0	7	NO
9	Roko 15/03/2009	cría con madre	20	9	0	0	9	SI
10	Sara 16/03/2009	cría con madre	60	14	26	17	57	SI
11	Toña 17/03/2009	madre con cría	191	435	65	13	513	SI
12	Uri 18/03/2009	madre con cría	186	104	33	0	137	SI
13	Victoria 20/03/2009	cría con madre	15	2	1	8	11	SI
14	Ximena 21/03/2009	madre con cría	127	30	43	0	73	NO
15	Gabriel 27/03/2010	solitario	144	0	18	4	22	NO
16	Ale 28/02/2010	solitario	360	34	22	7	63	NO
17	Ana 03/03/2010	solitario	164	4	2	65	71	NO
Total		17	1591	863	273	119	1255	



Definición del fondo de la columna de agua

De las 17 marcas colocadas sólo fue posible realizar el seguimiento de 8 ballenas utilizando el GPS (4 madres, 3 crías y 1 solitario) (ver anexo 1), por lo que únicamente para éstas se contó con datos de GPS (Cuadro 3). La zona de la laguna más usada por las ballenas fue la zona media y la zona inferior (Figura 2). En estas zonas, el promedio de las profundidades máximas usadas por los animales fue de 13.9 m.

Cuadro 3. Datos de profundidad de las ballenas marcadas para las que se tomaron posiciones con el GPS, mostrando las zonas de la laguna en la que presentaron la navegación y el grupo demográfico al que perteneció la ballena marcada.

Número de Ballena	Ballena marcada	Zona de la Laguna donde se ubicó la ballena	Grupo demográfico	Profundidad promedio(m)	Profundidad máxima(m)
2	Hector01/03/2008	Media	solitario	12.5	12.5
5	Ema02/03/2008	Media-Inferior	madre con cría	12.6	13.5
7	Mariela06/03/2008	Media-Inferior	madre con cría	11.0	15.0
9	Roko15/03/2009	Inferior	cría con madre	12.5	12.5
10	Sara16/03/2009	Inferior	cría con madre	10.5	12.5
11	Toña17/03/2009	Media-Inferior	madre con cría	12.0	12.5
12	Uri18/03/2009	Inferior	madre con cría	15.0	20.0
13	Victoria20/03/2009	Inferior	cría con madre	12.0	12.5
Total 8			Promedio	12.3	13.9

El promedio de profundidad máxima de 13.9 m indica que si fue adecuado considerar el estrato del fondo a más de 10 m. Es importante mencionar que este valor no fue utilizado para ningún tipo de cálculo, solamente fue utilizado como referencia para definir el estrato de fondo. Además, las ballenas se encontraron en promedio a 12.3 m de la superficie, es decir, principalmente en el estrato de fondo.



Clasificación de las llamadas

Las llamadas pulsadas se clasificaron en cuatro: *CONGA*, *QUEJIDO*, *PURR* y *CROAC*, y las de frecuencia modulada en una: *RONRONEO*. La llamada tipo *CONGA* (Figura 11) fue la tipo *1a* para Wisdom (2000) y en el trabajo de Dahlheim (1987) no está descrita. La llamada tipo *PURR* (Figura 12) fue el sonido tipo *1b* de Wisdom (2000) y el *S1* de Dahlheim (1987). La llamada tipo *CROAC* (Figura 13) fue catalogada como tipo *4* por Wisdom (2000) y *S4* por Dahlheim (1987). El sonido tipo *QUEJIDO* (Figura 14) fue relacionado con el *Rumble* de Wisdom (2000) y el *S5* de Dahlheim (1987). Finalmente, la llamada catalogada como *RONRONEO* (Figura 15) en este estudio no pudo ser relacionada con ninguno de los sonidos propuestos ni por Wisdom (2000) ni por Dahlheim (1987), por lo que es la primera vez que se describe para la ballena gris (Cuadro 4).

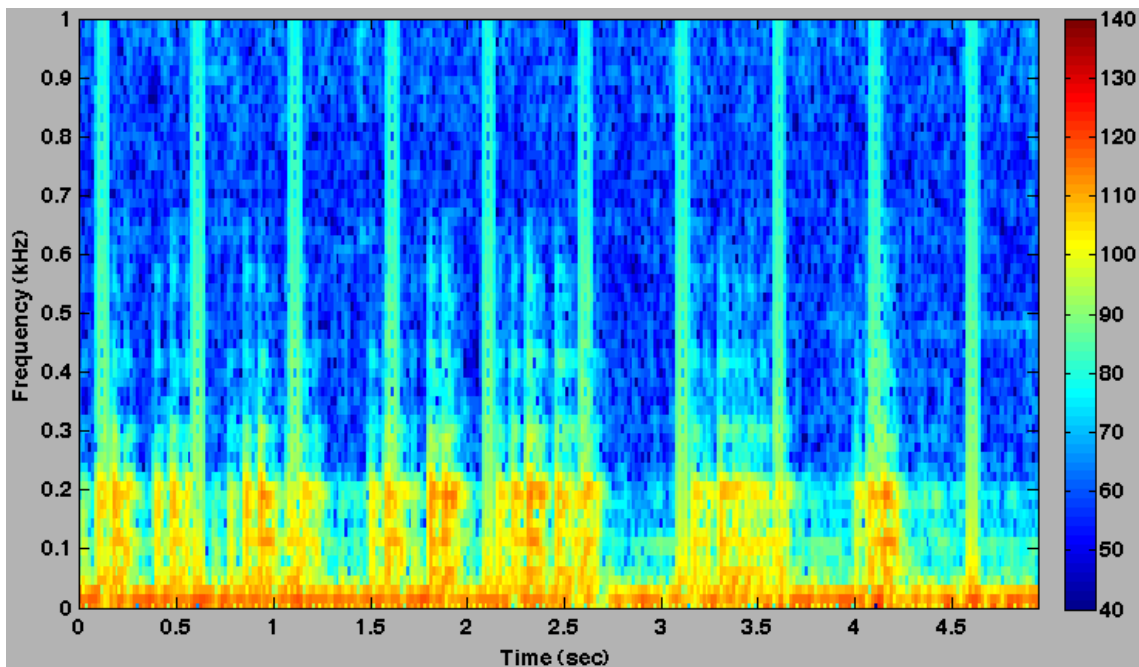


Figura 11. Espectrograma de la llamada pulsada tipo *CONGA* de ballena gris encontrada en este trabajo.



Cuadro 4. Características de las llamadas de la ballena gris encontradas en este estudio y por Dahlheim (1987) y Wisdom (2000). Los valores mostrados son el promedio. El asterisco muestra que ese parámetro no se pudo medir o no se presentó.

	Tipo de Sonido	Frecuencia(Hz) Mínima	Frecuencia(Hz) Máxima	Duración (s) por llamada	# de pulsos	# de armónicos	Descripción
1	Anaid López Urbán Conga	60	600	1.7	12	*	Pulsada
	Sheyna Wisdom(2000) Tipo 1a	60	880	2	15	*	Pulsada
	Marilyn Dahlheim(1987) No lo presenta		NO	LO	PRESENTA		
2	Anaid López Urbán Purr	84	1010	2.3	14	*	Pulsada
	Sheyna Wisdom(2000) Tipo 1b	80	1040	2.03	9	*	Pulsada
	Marilyn Dahlheim(1987) S1	90	1040	1.8	9.4	*	Pulsada
3	Anaid López Urbán croac	58	1013	3	54	*	Pulsada
	Sheyna Wisdom(2000) Tipo 4	50	650	0.9	22	*	Pulsada
	Marilyn Dahlheim(1987) S4	150	1570	0.9	*	*	Pulsada
4	Anaid López Urbán Quejido	56	500	2.6	*	*	Pulsada
	Sheyna Wisdom(2000) Rumble	50	790	3	*	*	Pulsada
	Marilyn Dahlheim(1987) S5	130	840	3.2	*	*	Pulsada
5	Anaid López Urbán Ronroneo	48	152	1.4	*	2	FM
	Sheyna Wisdom(2000)		NO	LO	PRESENTA		
	Marilyn Dahlheim(1987)		NO	LO	PRESENTA		



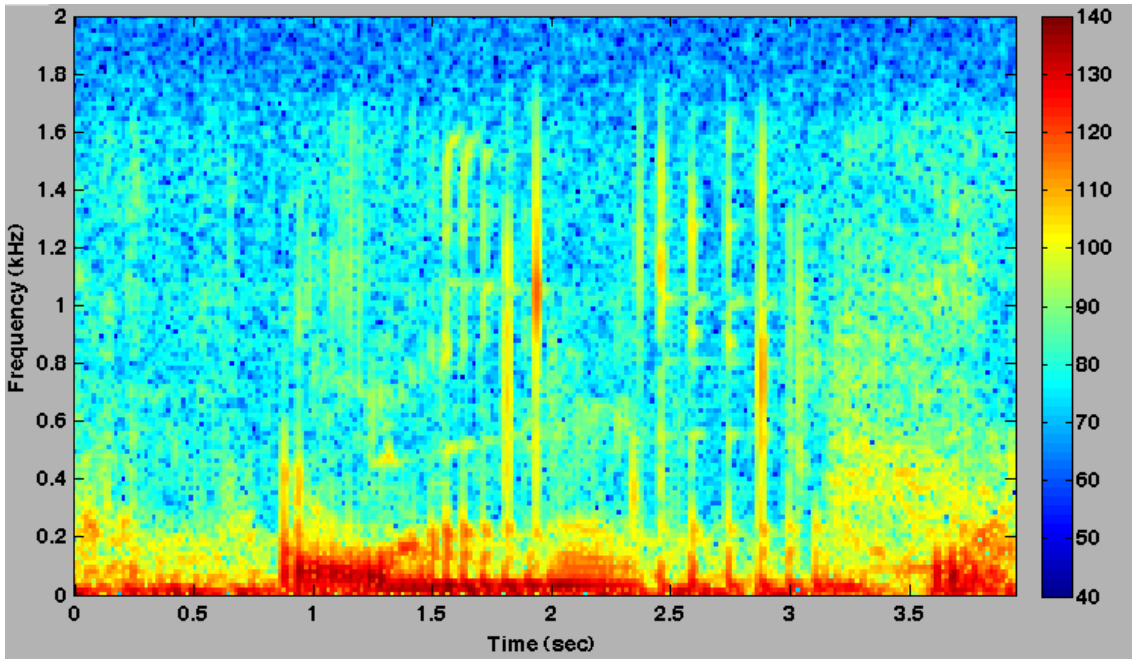


Figura 12. Espectrograma de la llamada pulsada tipo *PURR* de ballena gris encontrada en este trabajo.

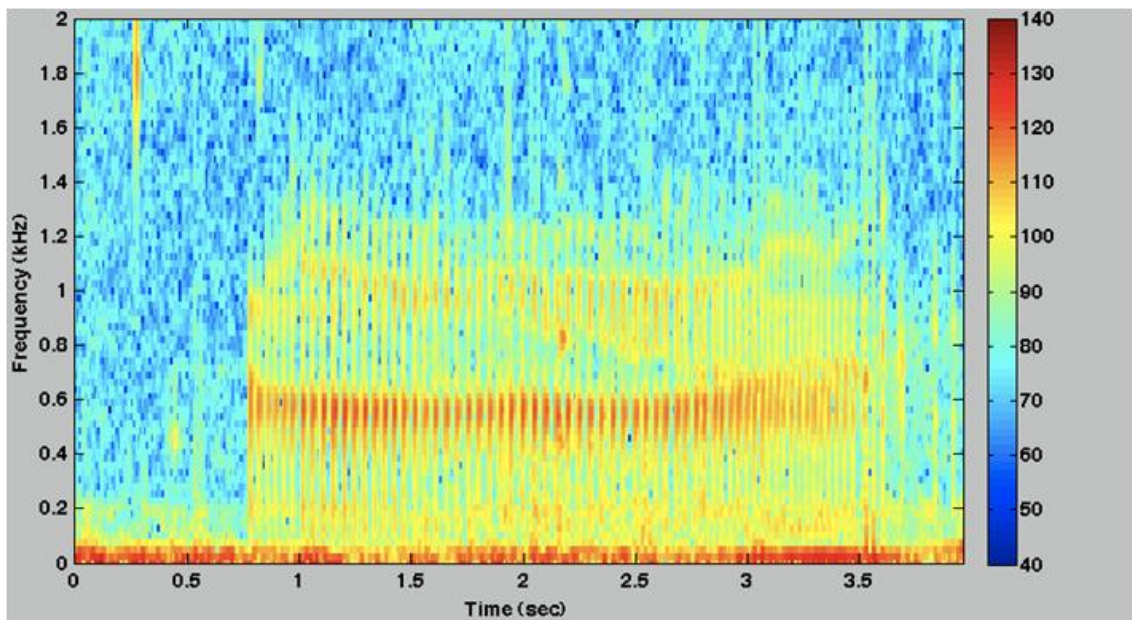


Figura 13. Espectrograma de la llamada pulsada tipo *CROAC* de ballena gris encontrada en este trabajo.



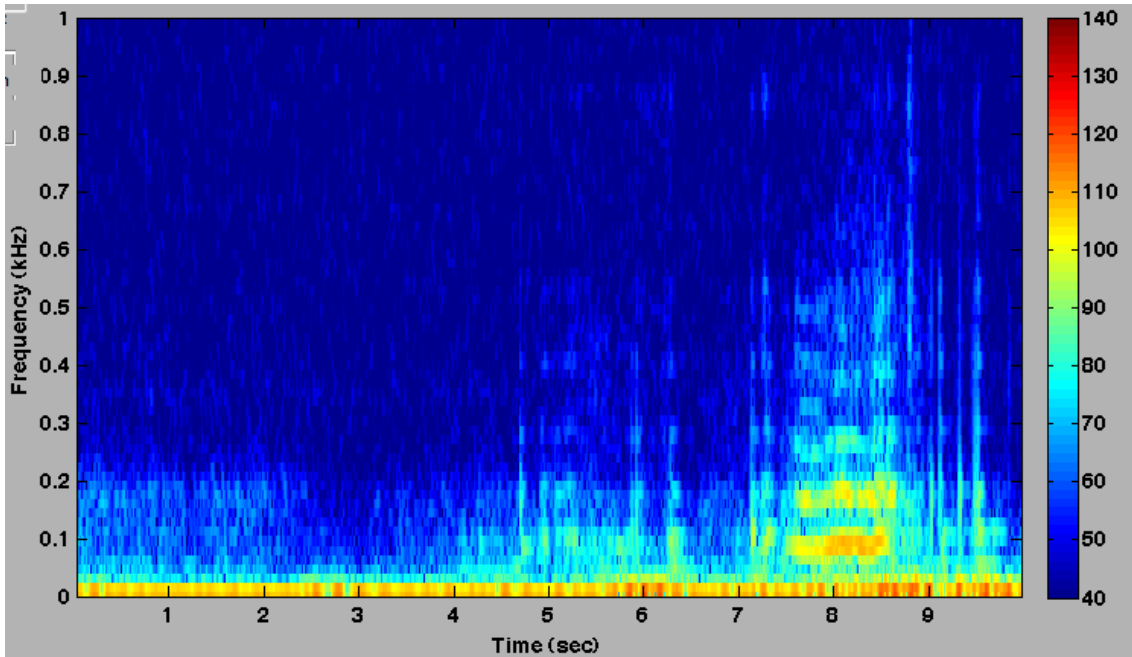


Figura 14. Espectrograma de la llamada pulsada tipo *QUEJIDO* de ballena gris encontrada en este trabajo.

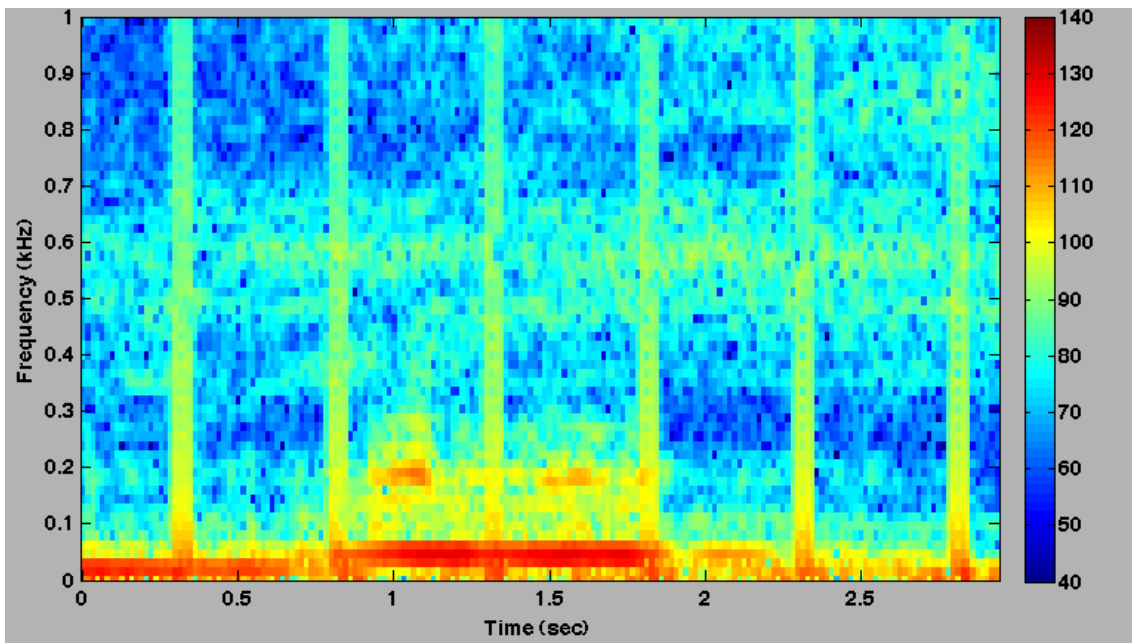


Figura 15. Espectrograma de la llamada de frecuencia modulada tipo *RONRONEO* de ballena gris encontrada en este trabajo.



Diferencias en el número de llamadas de acuerdo al estrato en la columna de agua en el que se encontraba la ballena, por grupo demográfico y para cada tipo de llamada

Número de llamadas vs estrato

Del total de las llamadas grabadas con las 14 marcas, 838 fueron producidas en la superficie, 246 en el estrato medio y 94 en el estrato del fondo (Cuadro 5). Entonces, se encontró que el número de llamadas fue mayor en la superficie que en el estrato medio o en el fondo de la columna de agua ($X^2 = 5581.991$ g.l=0.95, 4, **p=0.01**).

Cuadro 5. Número de llamadas registradas para cada grupo demográfico en los diferentes estratos de la columna de agua.

	madres con cría		solitarios		Total	
Superficie	668	77.6%	170	53.6%	838	71.1%
Media	175	20.3%	71	22.4%	246	20.9%
Fondo	18	2.1%	76	24.0%	94	8.0%
Total	861	100%	317	100%	1178	100%

Número de llamadas para cada grupo demográfico vs estrato

Del total de las llamadas grabadas con las 14 marcas en el estrato de superficie, las madres con cría produjeron una mayor proporción que los solitarios, mientras que para el estrato del fondo los solitarios fueron los produjeron una mayor



proporción de llamadas (Cuadro 5). En el estrato medio ambos grupos demográficos emitieron la misma proporción de llamadas. Entonces, el número de llamadas registradas por grupo demográfico fue dependiente del estrato de la columna de agua ($X^2 = 170.26$ g.l=0.95, 2, **p=0.01**).

Número de llamadas de cada tipo vs estrato

Los 5 tipos de llamadas pulsadas (*CONGA*, *QUEJIDO*, *RONRONEO*, *PURR* y *CROAC*) fueron dependientes del estrato de la columna de agua (superficie, estrato medio o fondo) donde se emitieron ($X^2= 160.50$ g.l=0.95, 8, **p=0.01**). Del total de llamadas registradas en la superficie, el mayor número fue del tipo *CONGA*, al igual que en el estrato medio y en el fondo (Cuadro 6). Además, del total de llamadas registradas en el estrato medio ninguna perteneció al tipo *CROAC*.

Cuadro 6. Número de llamadas registradas de cada tipo de llamada en los diferentes estratos de la columna de agua.

	Superficie		Medio		Fondo		Total	
Conga	773	74.5%	188	18.1%	77	7.4%	1038	100%
Ronroneo	1	1.7%	51	85.0%	8	13.3%	60	100%
Quejido	31	86.1%	3	8.3%	2	5.6%	36	100%
Purr	32	80.0%	4	10.0%	4	10.0%	40	100%
Croac	1	25.0%	0	0.0%	3	75.0%	4	100%
Total	838	71.1%	246	20.9%	94	8.0%	1178	100%



Diferencias en el número de llamadas por tipo y de acuerdo a sus parámetros acústicos por grupo demográfico

Tipo de llamada vs grupo demográfico

El tipo de llamada fue dependiente del grupo demográfico, ($X^2=112.67$ g.l.= 0.95, 4, $p=0.01$). Tanto para las madres con cría como para los solitarios la llamada tipo *CONGA* fue la vocalización más utilizada (Cuadro 7). Sin embargo, para las madres con cría, el *QUEJIDO* fue el segundo tipo de llamada con mayor registro, mientras que para los solitarios fueron tanto el *RONRONEO* como el *PURR*. Con respecto a la llamada tipo *CROAC* ésta tuvo baja ocurrencia en los dos grupos demográficos.

Cuadro 7. Número de llamadas registradas para cada tipo de llamada de acuerdo al grupo demográfico.

	madre con cría		solitarios		Total	
Conga	800	92.9%	238	75.1%	1038	88.1%
Ronroneo	11	1.3%	49	15.5%	60	5.1%
Quejido	29	3.4%	7	2.2%	36	3.1%
Purr	20	2.3%	20	6.3%	40	3.4%
Croac	1	0.1%	3	0.9%	4	0.3%
Total	861	100%	317	100%	1178	100%

Características acústicas de cada tipo de llamada vs grupo demográfico

La estructura acústica de los cinco tipos de llamadas parece ser distinta para los dos grupos demográficos (Cuadro 8). Sin embargo, solamente fue posible utilizar la



llamada tipo *CONGA* para realizar el análisis estadístico detallado de la estructura de las llamadas por grupo demográfico porque ésta fue la llamada que presentó un número razonable de muestras para los dos grupos demográficos (88% de las llamadas analizadas, Cuadro 7).

Cuadro 8. Promedio de los parámetros acústicos medidos para cada tipo de llamada de acuerdo al grupo demográfico (madres con cría y solitarios). El asterisco muestra que este parámetro no se midió para este tipo de llamada.

	Conga madres	Conga solitarios	Quejido madres	Quejido solitarios	Purr madres	Purr solitarios	Croac madres	Croac solitarios	Ronroneo madres	Ronroneo solitarios
Frecuencia mínima (Hz)	65	58	57	44	70	82	46	69	48	78
Frecuencia máxima (Hz)	516	546	462	240	527	675	1513	513	356	128
Frecuencia baja-máxima (Hz)	261	360	*	*	*	*	*	*	*	*
Número de pulsos	12	23	13	3	14	8	67	40	*	*
Número de armónicos	*	*	*	*	*	*	*	*	4	1
Duración de la llamada(s)	1.80	3.38	1.66	1.53	2.14	1.32	2.82	4.23	2.03	3
Total de llamadas	800	238	29	7	20	20	1	3	11	49

Características acústicas de la llamada pulsada tipo *CONGA* vs grupo demográfico

La prueba de bondad de ajuste indicó que los parámetros acústicos de la llamada pulsada tipo *CONGA* se distribuyeron de una forma normal, pero la prueba de homocedasticidad mostró que estos datos no eran homocedásticos ($p=0.213$), por lo que se aplicó la prueba no paramétrica ANOVA Kruskal-Wallis con una $p \leq 0.05$ para



determinar si existían diferencias en los parámetros acústicos de la llamada pulsada tipo *CONGA* por grupo demográfico.

Duración por grupo demográfico para la llamada tipo *CONGA*

Se analizaron 238 llamadas tipo *CONGA* de solitarios y 800 de madres con cría (Cuadro 7). El 50% de las llamadas presentaron una duración mínima de 0.5 s y una máxima de 2 s (Figura 16). La duración de la llamada tipo *CONGA* no presentó diferencias significativas entre las madres con cría y los solitarios ($p=0.278$ ANOVA de Kruskal-Wallis).

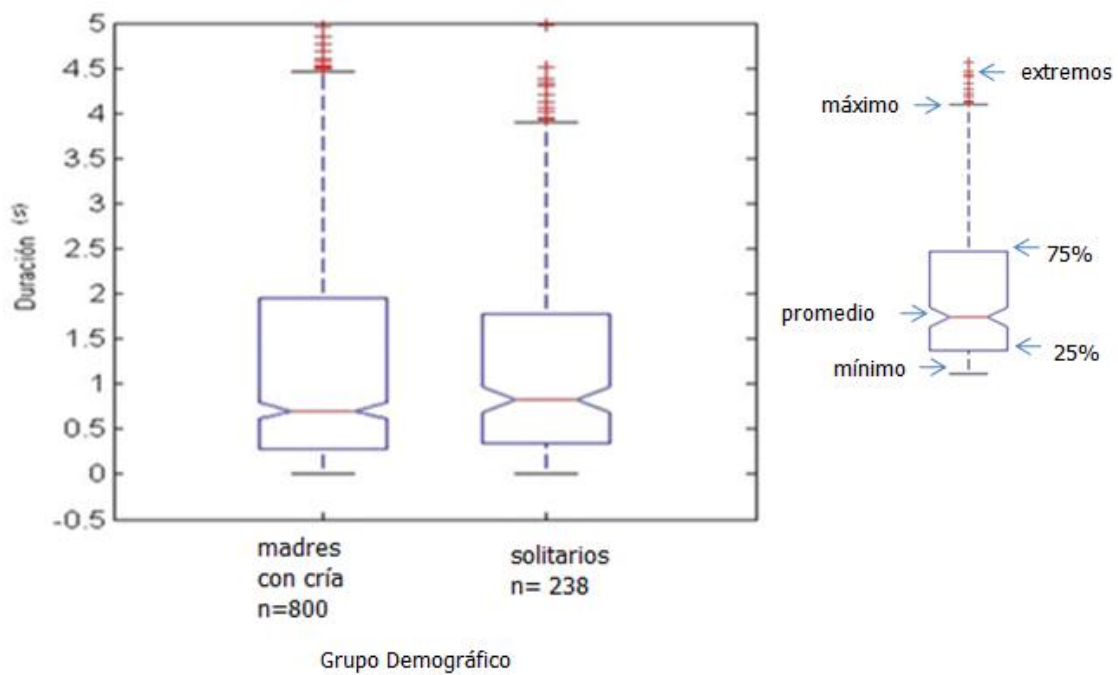


Figura 16. Variación en la duración de la llamada tipo *CONGA* para las madres con cría y los solitarios.



Número de pulsos por grupo demográfico para la llamada tipo CONGA

Para el análisis de número de pulsos de cada llamada tipo *CONGA* por grupo demográfico fue necesario ponderar el número de pulsos sobre la duración de la llamada y este valor fue el que se utilizó para realizar el ANOVA, es decir, se utilizó el número de pulsos por segundo. El ANOVA para este parámetro mostró diferencias significativas entre el número de pulsos de las llamadas producidas por las madres con cría y solitarios ($p=0.009$ ANOVA de Kruskal-Wallis). Se puede observar que el 50% de los datos de las madres presentaron entre 7 y 18 pulsos, a diferencia de los solitarios, donde el 50% de los datos tuvieron de 5 a 15 pulsos por llamada (Figura 17).

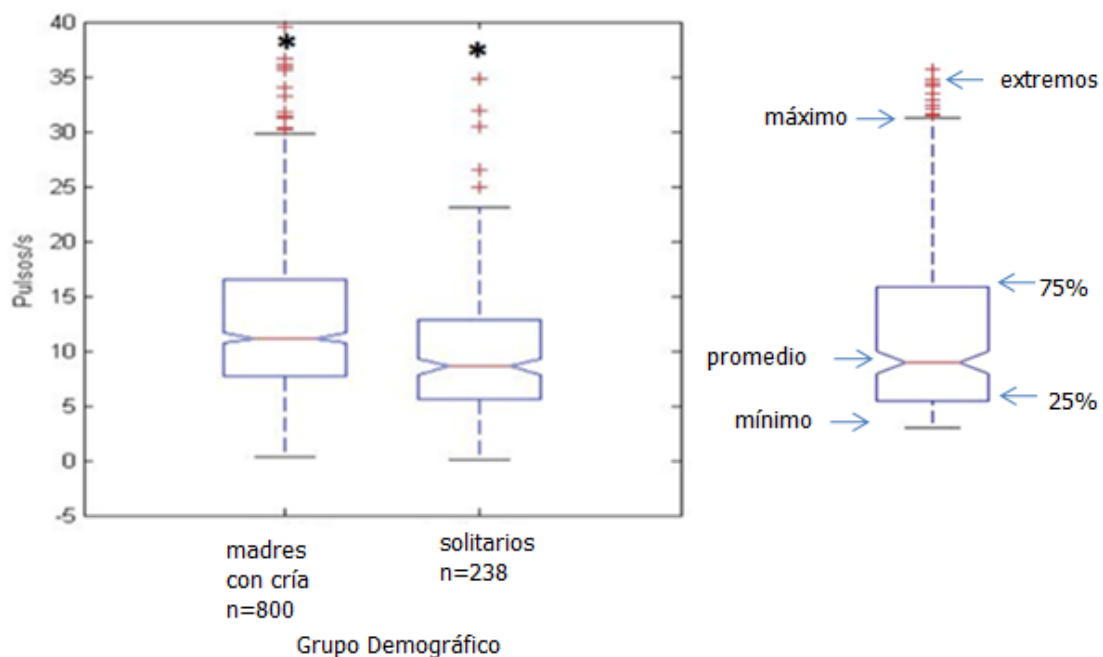


Figura 17. Variación en el número de pulsos de la llamada tipo *CONGA* para las madres con cría y los solitarios. El asterisco negro, muestra que existió diferencia significativa.



Frecuencia mínima por grupo demográfico para la llamada tipo CONGA

La frecuencia mínima de la llamada tipo *CONGA* para las madres con cría y los solitarios presentó diferencias significativas ($p=0.05$ ANOVA Kruskal-Wallis). La frecuencia mínima para esta llamada en las madres con cría fue usualmente de 38 a 58 Hz y para los solitarios fue de 48 a 68 Hz (Figura 18).

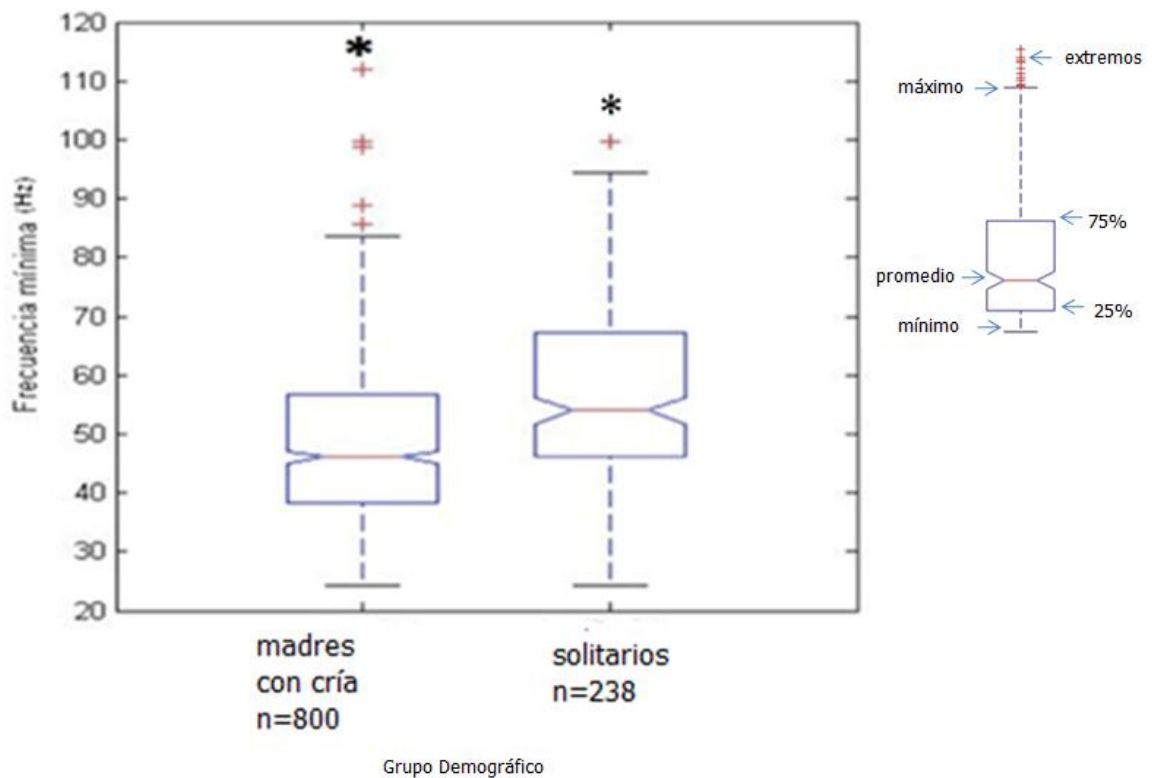


Figura 18. Variación en la frecuencia mínima de la llamada tipo *CONGA* para las madres con cría y los solitarios. El asterisco negro, muestra que existió diferencia significativa.



Frecuencia máxima por grupo demográfico para la llamada tipo CONGA

La frecuencia máxima de la llamada tipo *CONGA* no presentó diferencias estadísticas entre madres con cría y solitarios ($p=0.2246$ ANOVA Kruskal-Wallis). El 50% de los datos para madres y solitarios presentaron un intervalo de frecuencia máxima de 400 a 600 Hz (Figura 19).

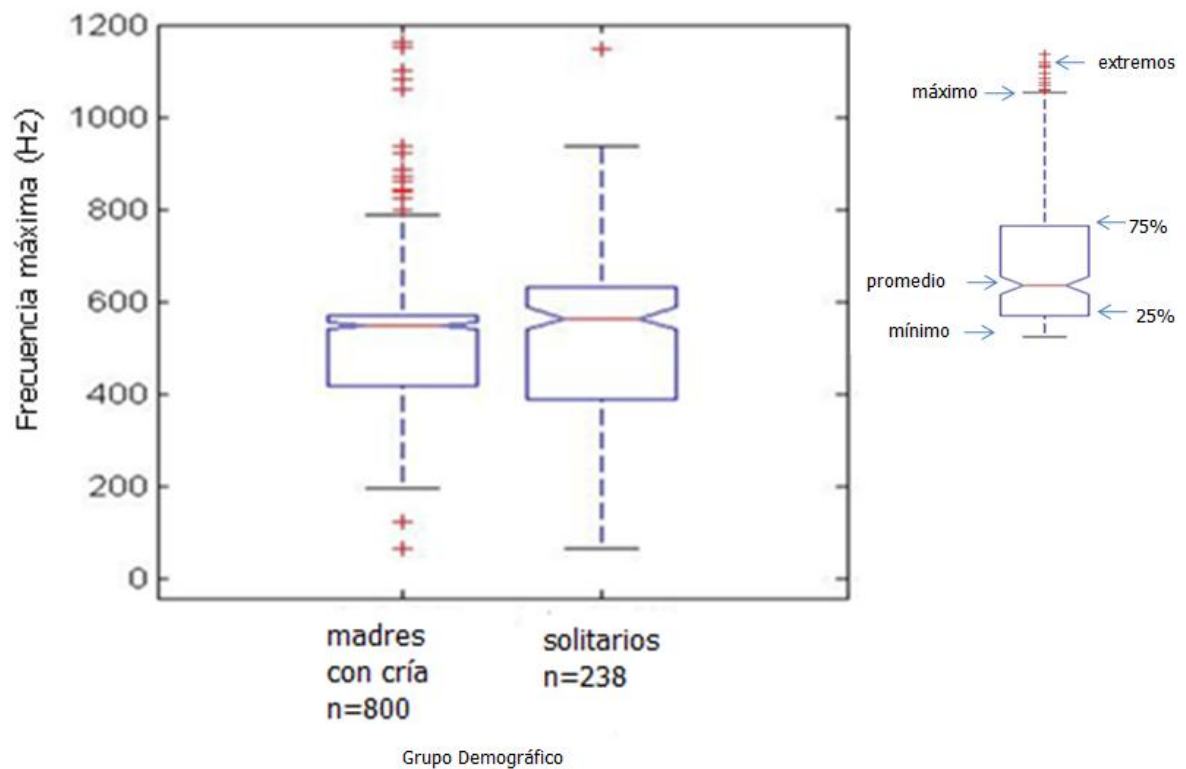


Figura 19. Variación en la frecuencia máxima de la llamada tipo *CONGA* para las madres con cría y los solitarios.



Frecuencia baja-máxima por grupo demográfico para la llamada tipo CONGA

El parámetro de frecuencia baja-máxima de la llamada tipo *CONGA* para madres con cría y solitarios mostró diferencias estadísticas entre madres con cría y solitarios ($p=0.05$, ANOVA de Kruskal-Wallis $p\leq 0.05$). El 50% de las llamadas realizadas por las madres con cría tuvieron un intervalo de frecuencia baja-máxima de 200 a un poco más de 300 Hz, mientras que para los solitarios el intervalo fue de 200 a más de 400 Hz (Figura 20).

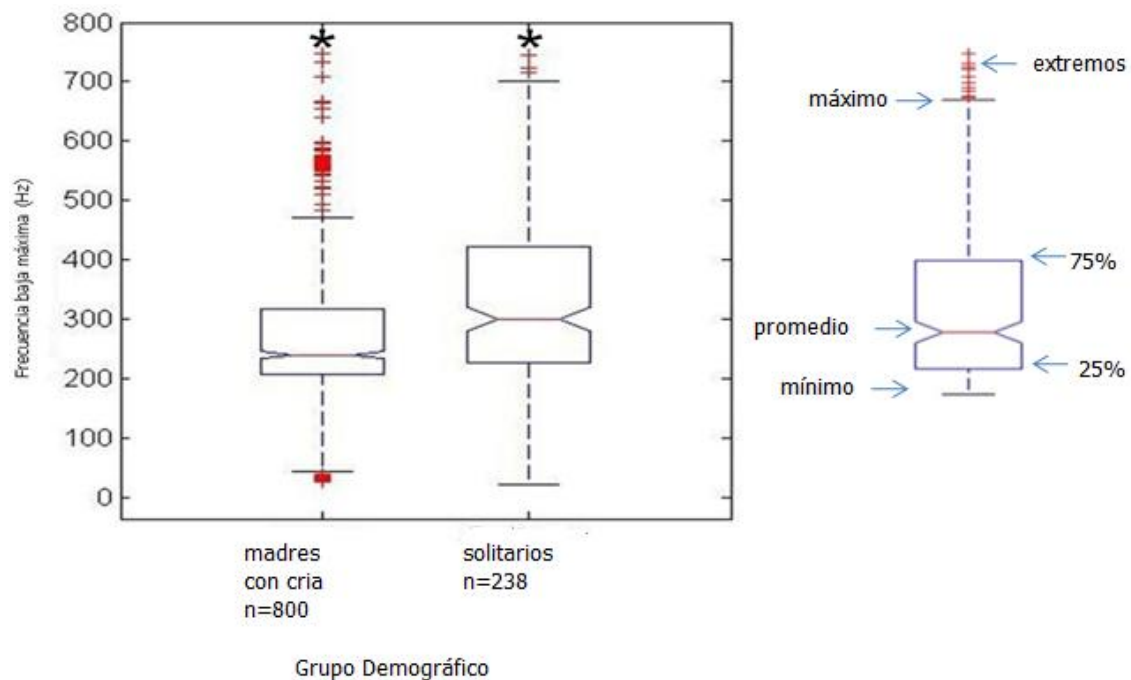


Figura 20. Variación en la frecuencia baja-máxima de la llamada tipo *CONGA* para las madres con cría y los solitarios. El asterisco negro muestra que existió una diferencia significativa.



Tasa de vocalización por grupo demográfico para la llamada tipo CONGA

Para este análisis se ponderó el número de llamadas considerando el número de minutos de grabación y este valor de tasa de vocalización fue el que se utilizó para realizar el ANOVA, es decir, se utilizó el número de llamadas por minuto.

La ocurrencia de las llamadas tipo *CONGA* para los solitarios y las madres con cría no presentó diferencias estadísticas ($p=0.2039$ ANOVA de Kruskal-Wallis), por lo que la tasa de vocalización para las madres con cría y los solitarios fue similar (Figura 21).

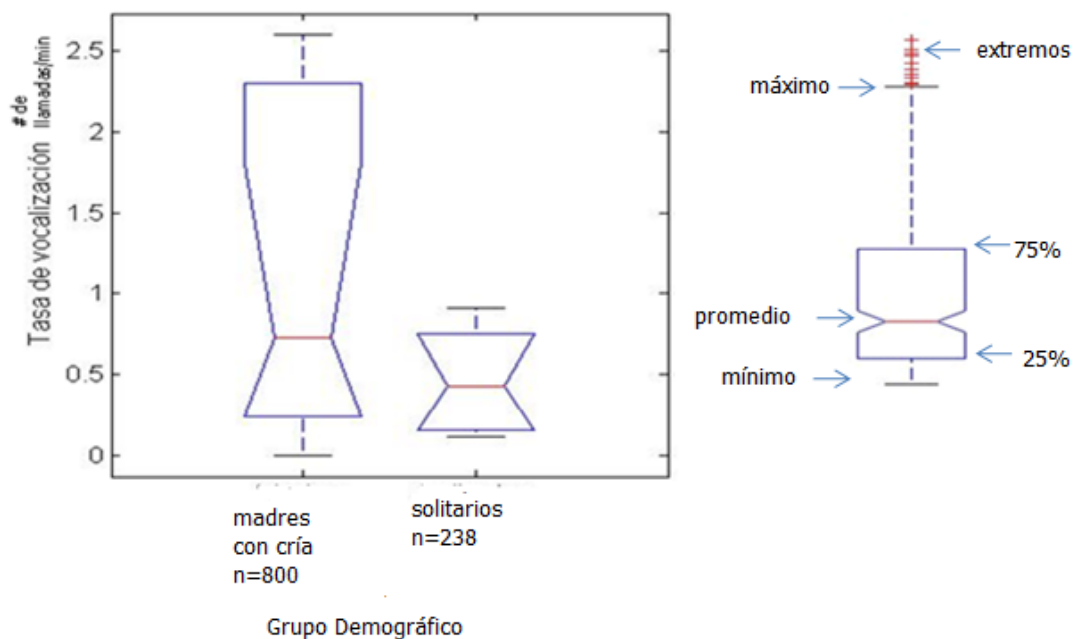


Figura 21. Variación en la tasa de vocalización de la llamada tipo *CONGA* para las madres con cría y los solitarios.



Discusión

Se encontró que la profundidad promedio de las Zonas Media e Inferior de la Laguna San Ignacio en las que se movieron las ballenas grises (*Eschrichtius robustus*) fue de 12.3 m, con una profundidad máxima promedio de 13.9 m. Este resultado concuerda con lo descrito por Jones y Swartz (1984), quienes mencionan que aunque la mayor parte de la Laguna San Ignacio es somera, con profundidades que varían desde los 2 m hasta los 20 m, las ballenas utilizan principalmente los canales centrales porque son las partes más profundas de la laguna. Además, Jones y Swartz (1984) mencionan que las planicies de lodo en la costa restringen el paso a las ballenas. Este resultado también indica que fue correcto considerar en este estudio el estrato de fondo como una profundidad mayor a 10 m.

En cuanto a la clasificación de las llamadas de la ballena gris, ésta se realizó con base en el repertorio reportado por Dahlheim (1987) y Wisdom (2000) para las ballenas grises de la Laguna San Ignacio. Los resultados del presente estudio indican que 3 de los 6 tipos de llamadas reportados por Dahlheim(1987) y 4 de los 5 tipos reportados por Wisdom (2000) también se grabaron durante este estudio. Tres de los tipos de llamadas reportados por Dahlheim(1987) y uno reportado por Wisdom (2000) no se encontraron en este estudio. Sin embargo, se encontró un tipo de llamada no reportado por ninguno de estos dos estudios, el tipo de llamada de la ballena gris catalogada como *RONRONEO*, que presentó una frecuencia mínima de 48 Hz y una frecuencia máxima de 152 Hz, con una duración de 1.4 s (Figura 15, Cuadro 8). Así, con este estudio se encontraron 5 tipos de llamadas de las cuales 4 ya habían sido descritas previamente.



Durante el mismo periodo en el que se realizó este estudio también se colocaron instrumentos autónomos en el fondo de la Laguna San Ignacio (Guerra y Thode 2008) y no se encontraron registros de la llamada tipo *RONRONEO* (Guerra 2009 comun. pers.). Es posible que el uso de la marca B-Probe, colocada encima de la ballena, favoreció la grabación de esta señal. Para descartar si la llamada tipo *RONRONEO* fuera un ruido mecánico se obtuvo la profundidad y aceleración de la marca en los ejes X y Y al tiempo que se produjo una llamada tipo *RONRONEO* (Figura 22). Esto permitió conocer los movimientos de la ballena previos, durante y posteriores al momento en el que se emitió la llamada tipo *RONRONEO*. En la Figura 22 se observa que la ballena casi no realizó movimientos al emitir la llamada, lo cual permite concluir que la llamada tipo *RONRONEO* probablemente no es producto de un movimiento mecánico producido por el golpeteo de la marca sobre el animal.

Esta llamada también podría ser un sonido emitido por algún otro organismo marino, aunque no se encontraron registros de los sonidos emitidos por otros organismos en la Laguna San Ignacio. La llamada tipo *RONRONEO* fue la segunda llamada que más se grabó después de la llamada tipo *CONGA* (60 llamadas equivalentes al 5.1% del total analizado, Cuadro 7) y presentó una mayor ocurrencia en las marcas de los solitarios. Entonces, se cree que sí es una vocalización emitida por la ballena gris y que esta llamada podría estar siendo usada para la reproducción más que para la crianza.

La relación de una llamada con una conducta específica es difícil de argumentar debido a que hay muchos factores que no se conocen, como lo es la edad y sexo del animal (Richardson y Greene Jr 1995). Sin embargo, Payne y McVay (1971) han sugerido que los cantos de la ballena jorobada son producidos por los machos en temporadas de reproducción, asumiendo que el canto es utilizado para conductas reproductivas (Payne y Vay 1971).



Movimiento, sonido y profundidad de la llamada Ronroneo

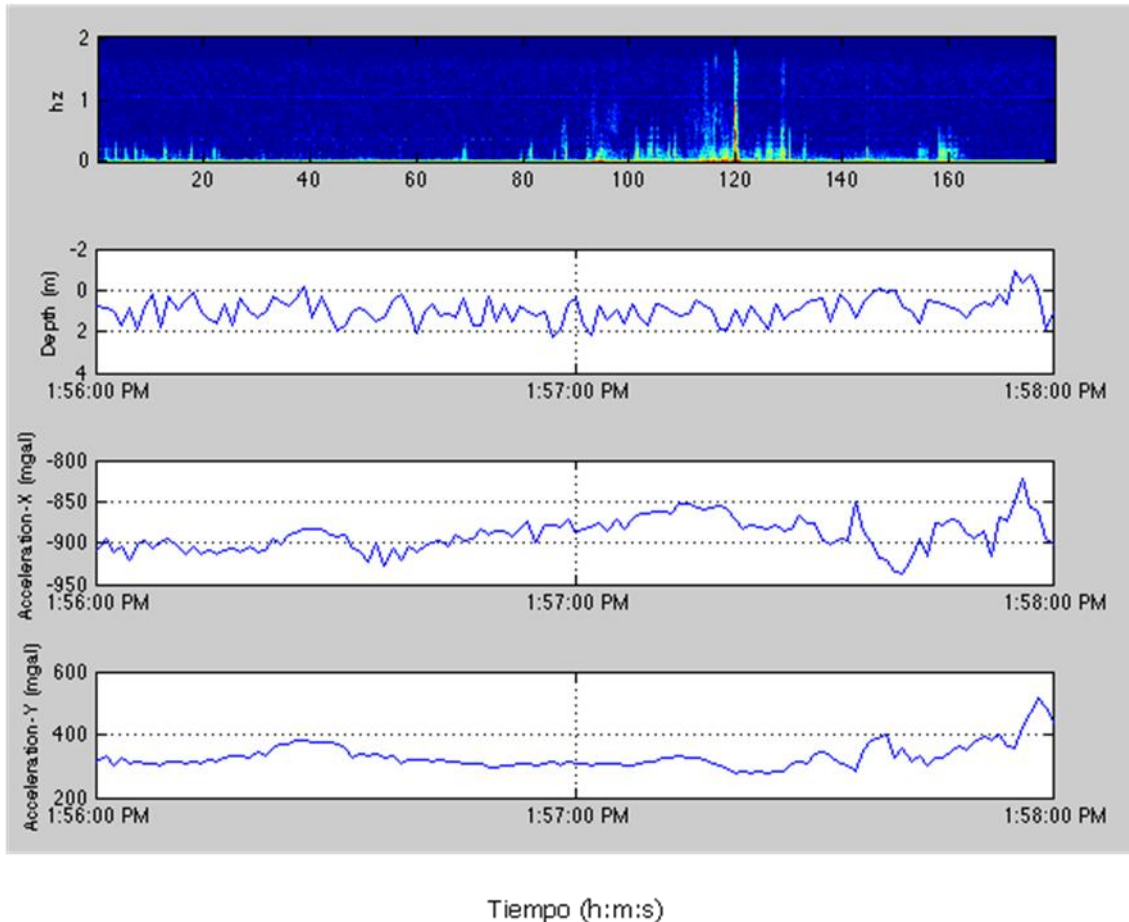


Figura 22. Gráficas temporales que muestran, en orden descendente, el espectrograma de la grabación realizada por la marca B-probe, la profundidad y la aceleración de la marca en los ejes X y Y cuando se grabó una llamada tipo *RONRONEO*. La línea punteada vertical a las 1:57:00 PM indica el momento en el que se emitió la llamada tipo *RONRONEO*.

Con respecto al número de llamadas producido en cada estrato de la columna de agua se obtuvo que, aunque las ballenas produjeron llamadas en todos los estratos, el número de llamadas fue diferente en cada uno de los estratos (Cuadro 5). Los resultados mostraron que se obtuvo el mayor número de llamadas en el estrato de superficie (una profundidad entre 0 y 5 m), teniendo el 71% de las llamadas. El estrato medio fue el segundo en presentar un alto número de llamadas, con el 21% de las llamadas, y el estrato del fondo fue donde se grabaron menos llamadas (8% de las



llamadas). Crane y Lashkari (1996) sugieren que la ballena gris aumenta la producción de sonidos en profundidades menores a los 100 m, con 0.050 sonidos/hora/ballena en aguas someras y 0.012 sonidos/hora/ballena en aguas profundas, lo que explica el uso completo de la columna de agua de la Laguna San Ignacio, con profundidades de 0 a 30 m aproximadamente (Jones y Swartz 1984), para emitir llamadas, así como una dependencia en la emisión de llamadas y el estrato específico de la columna de agua. Es posible que las ballenas grises emitieron más llamadas en el estrato de superficie porque necesitan estar cerca de ella para respirar.

Al separar el número de llamadas producidas por cada grupo demográfico en un estrato específico de la columna de agua también se observó una preferencia de la ballena gris por realizar sus llamadas en el estrato de superficie: 78% de las llamadas de las madres con cría y 54% de las llamadas de los solitarios fueron emitidas en el estrato de superficie (Cuadro 5). En el estrato de fondo el resultado fue diferente, ya que el 24% de las llamadas de los solitarios y sólo el 2% de las llamadas de las madres con cría fueron emitidas en el estrato de fondo. El gran número de llamadas producidas por las madres con cría en el estrato de superficie puede deberse a que los ballenatos no pueden realizar apneas de larga duración como los adultos, por lo que éstas salen a respirar de manera más continua (Wisdom 2000). El que los solitarios se movieran más frecuentemente al estrato de fondo para vocalizar se puede deber a que los mysticetos utilizan los sonidos primordialmente para comunicarse con sus con-específicos (Crane y Lashkari 1996) y los solitarios deben buscar el lugar en la columna de agua que transmita mejor sus llamadas cuando no tienen que estar cerca de la superficie. En aguas someras como las de la Laguna San Ignacio el proceso de transmisión acústica se ve afectado por diferentes factores. El utilizar el estrato del fondo para vocalizar ayuda a que los sonidos de baja frecuencia, como las llamadas de la ballena gris, puedan volver al agua por procesos de reflexión con la superficie y de



refracción una vez que chocan con el fondo para evitar una mayor pérdida de sonido (Guerra 2008). Además, el ruido antropogénico, que probablemente es mayor en la superficie debido a la presencia de embarcaciones turísticas (Gómez-Gallardo 2004), y el ruido de fondo, que también probablemente es mayor en la superficie debido al viento (Urlick 1996), pueden enmascarar a las llamadas de la ballena gris (Ollervides y Rohrkasse 2007).

Otra explicación al alto número de llamadas emitidas por los solitarios en el estrato del fondo es que la velocidad de propagación del sonido se ve influenciada por la temperatura, la salinidad y la presión (Brekhovskikh y Lysanov 1991). Un aumento en alguno de estos parámetros provoca un incremento de la velocidad del sonido. Considerando que el fondo presenta una mayor presión, provee un mejor lugar para aumentar la velocidad de la señal (Guerra 2008), permitiendo facilitar la comunicación con la finalidad de incrementar las posibilidades de reproducción, ya que el sonido llegaría de forma más rápida a los con-específicos.

También se encontró una relación del número de llamadas de cada tipo con el estrato de la columna de agua, sugiriendo que existe una dependencia entre el tipo de llamada y el estrato específico de la columna de agua. El 75% de las llamadas tipo *CONGA*, el 86% de las llamadas tipo *QUEJIDO* y el 80% de las llamadas tipo *PURR* fueron registradas en la superficie, mientras que el 85% de las llamadas tipo *RONRONEO* fueron registradas en el estrato medio y el 75% de las llamadas tipo *CROAC* fueron registradas en el estrato de fondo (Cuadro 6). Estos resultados concuerdan con lo reportado por Crane y Lashkari (1996), quienes mostraron que algunos sonidos de la ballena gris fueron predominantes en aguas con profundidades mayores a 100 m, mientras que otros fueron escuchados en la parte superficial de la columna de agua (profundidad menor a 100 m), aunque todos los sonidos se escucharon en todas las profundidades.



En este estudio, la llamada tipo *CROAC* no registró en el estrato medio, lo cual indica que dividir la columna de agua en estratos más pequeños trae consigo la obtención de resultados más finos que los encontrados por Crane y Lashkari (1996).

La relación del tipo de llamada con un grupo demográfico específico indicó que la llamada más común tanto para las madres con cría como para los solitarios fue la llamada pulsada tipo *CONGA* (Cuadro 7). Sin embargo, la segunda llamada más utilizada por las madres con cría fue la llamada pulsada tipo *QUEJIDO* y para los solitarios fue la llamada de frecuencia modulada tipo *RONRONEO*. La relación del número de llamadas de cada tipo para cada grupo demográfico es difícil de interpretar porque en este estudio no se tomaron datos de la conducta de la ballena. El que los solitarios emitieran menos llamadas pulsadas tipo *CONGA* y más llamadas de frecuencia modulada tipo *RONRONEO* y pulsadas tipo *PURR* que las madres con cría probablemente está relacionado con lo que las ballenas realizaban en ese momento y tomando en cuenta la probable función que tengan dichas llamadas.

Cabe mencionar que Crane y Lashkari (1996) proponen que las llamadas pulsadas de la ballena gris pueden ser usadas para la comunicación entre ballenas a distancias cortas. En este estudio se encontró que el 99% de las llamadas emitidas por las madres con cría fueron pulsadas, mientras que para los solitarios únicamente el 84% de sus llamadas fueron pulsadas (Cuadro 7). Como las madres con cría deben permanecer cerca de su cría, según Crane y Lashkari (1996), era de esperarse que emitieran principalmente llamadas pulsadas.

Además, el que las ballenas grises emitieran principalmente llamadas pulsadas tipo *CONGA* indica que este tipo de llamada debe ser muy importante. Para las madres con cría probablemente se utiliza para mantenerse en contacto con su cría, mostrando que la comunicación es constante durante la crianza (Wisdom 2000) y debe formar



parte del proceso de aprendizaje vocal en la ballena gris. Se ha sugerido que algunos tipos de llamadas específicas de las crías de ballena gris pueden ser afectadas por la ausencia de desarrollo conductual y de contacto con con-específicos (Wisdom 2000). El papel que juegan los adultos en el aprendizaje vocal de las crías también se ha mostrado en orcas (*Orcinus orca*), donde se ha observado que las crías de esta especie producen llamadas que no son típicas de la especie y, conforme incrementa su edad, cambia la complejidad y la estereotipia de sus llamadas (Bowles *et al.* 1988).

Diversos estudios han mostrado que las llamadas *DOBLES* producidas por el rorcual común (*Balaenoptera physalus*) son usualmente realizadas por los machos, al igual que la llamada tipo *BROADCAST* producida por la ballena azul (*B. musculus*) que solamente se ha podido relacionar con los machos (McDonald *et al.* 2001). De igual manera, las canciones de la ballena jorobada (*Megaptera novaeangliae*) son emitidas sólo por los machos en sus áreas de crianza y reproducción durante la época invernal (Payne y Vay 1971). Estos estudios muestran que sí puede existir una relación entre una llamada específica y el sexo de la ballena.

En este estudio no se encontró una llamada exclusiva para cada grupo demográfico (madres con cría y solitarios), pero si se encontró, como ya se mencionó, que los distintos tipos de llamadas no fueron utilizados de la misma forma por ambos grupos demográficos (Cuadro 7). El grupo demográfico en este estudio no representa el sexo de las ballenas, pero representa una diferencia en la estructura social de la ballena gris. Entonces, dependiendo de si una ballena tiene cría o no usan sus llamadas de manera distinta.

La selección de los parámetros acústicos que se utilizaron para describir la estructura de las llamadas fue realizada con base en los parámetros descritos por Dahlheim (1987) y Wisdom (2000). Los parámetros que se utilizaron fueron: frecuencia



máxima, frecuencia mínima, frecuencia baja-máxima, duración de la llamada y número de pulsos. Los parámetros acústicos medidos deben ser los adecuados para describir el sonido según lo que se quiera estudiar (Richardson y Greene Jr 1995). Los parámetros acústicos medidos en este estudio son parámetros que probablemente sirven para clasificar las llamadas, debido a que proveen una descripción de las propiedades de la señal (Crane y Lashkari 1996). Sería necesario hacer un análisis estadístico de clasificación de las llamadas en tipos utilizando estos parámetros acústicos para determinar si los parámetros son o no adecuados. Este análisis no se pudo realizar debido a que el número de llamadas grabadas para todos los tipos no fue suficiente (Cuadro 7).

Sin embargo, en este estudio se encontraron diferencias significativas en tres de los seis parámetros acústicos de la llamada tipo *CONGA* entre madres con cría y solitarios (para la frecuencia mínima, frecuencia baja-máxima y número de pulsos), lo que muestra que existe variación en la estructura acústica de las llamadas de las ballenas grises por grupo demográfico. En la ballena azul y en la orca se ha reportado que cambian su tasa de vocalización y tanto la amplitud como la duración de las llamadas cuando existe la presencia de ruido antropogénico (Deecke *et al.* 2000; McDonald *et al.* 2001). En el presente estudio no se encontraron diferencias ni en la duración ni en la tasa de vocalización de la llamada tipo *CONGA* entre madres con cría y solitarios y, aunque no se realizaron mediciones de ruido en la laguna, se sabe que el número de embarcaciones turísticas que transitan por la laguna ha aumentado en el transcurso de los años (Gómez-Gallardo 2004). Entonces, el ruido antropogénico podría estar modificando la producción de llamadas, pero lo está haciendo de la misma manera para ambos grupos demográficos.

Deecke *et al.* (2000) señalan que las llamadas más utilizadas son las que muestran menor variación en su estructura acústica. Este parece ser el caso para la



llamada tipo *CONGA*, la llamada más frecuente, pues al compararla con la llamada Tipo *1a* de Wisdom (2000) se encontró la misma frecuencia mínima promedio (60 Hz) y el mismo número de pulsos promedio (Cuadro 4), sugiriendo que se trata de la misma llamada, como ya se mencionó. Considerando el lapso de 10 años entre ambos estudios y la similitud en las características de la llamada, se puede decir que no hubo cambio en la estructura acústica de este tipo de llamada.



Conclusiones

- Se obtuvo que la profundidad promedio a la cual se mueve la ballena gris es de 12.3 m.
- Se hizo una aportación al repertorio de la ballena gris, encontrando una nueva llamada de frecuencia modulada clasificada como *RONRONEO*.
- El número de llamadas presentó una dependencia con el estrato de la columna de agua y con el grupo demográfico. El número de llamadas registradas en la superficie fue mayor para ambos grupos demográficos, pero los solitarios presentaron más llamadas en el estrato del fondo que las madres con cría.
- El tipo de llamada presentó una dependencia con el estrato de la columna de agua donde vocalizó la ballena, indicando que no todas las llamadas fueron producidas de la misma manera en la columna de agua. Las llamadas tipo *CONGA*, *QUEJIDO* y *PURR* presentaron un mayor registro en el estrato de superficie, luego en el estrato medio y por último en el fondo. La llamada tipo *RONRONEO* se registró más en el estrato medio y la llamada tipo *CROAC* en el estrato del fondo, no habiendo ningún registro de la llamada tipo *CROAC* en el estrato medio.
- El tipo de llamada presentó una dependencia con el grupo demográfico. Se encontró que la llamada más común tanto para madres con cría como para solitarios fue la llamada tipo *CONGA*. Sin embargo, para las madres con cría la segunda vocalización más utilizada fue el tipo *QUEJIDO* y para los solitarios fueron los tipos



CROAC y *RONRONEO*, lo que indicó que los dos grupos demográficos utilizaron todo el repertorio acústico, pero con una preferencia por el tipo de llamada emitido.

- Se analizó la estructura acústica de la llamada más común para la ballena gris en su área de crianza y reproducción Laguna San Ignacio en los años 2008 al 2010, la tipo *CONGA*. El análisis indicó que existen diferencias significativas entre madres con cría y solitarios en la estructura acústica de la llamada tipo *CONGA* en los parámetros de: frecuencia mínima, frecuencia baja máxima y número de pulsos por llamada, más no en la frecuencia máxima, la duración y la tasa de vocalización.



Referencias

AROYAN, J. L., McDONALD M. A., WEBB S. C., HILDEBRAND J. A., CLARK D., LAITMAN J. T. y REIDENBERG J. S. 2000. Acoustic models of sound production and propagation. Pp 409-469 En: Popper A. N. y Fay R. R. (Eds.). *Hearing by Whales and Dolphins*. Springer, New York. 471 pp.

AU, W. W. L. y HASTINGS M. C. 2008. *Principles of Marine Bioacoustics*. Springer Verlag, New York. 661 pp.

BARNES, L. G., DOMNING D. P. y RAY C. E. 1985. Status of studies on fossil marine mammals. *Marine Mammal Science* **1**: 15-53.

BOWLES, A.E., YOUNG, W.G. y ASPER, E.D. 1988. Ontogeny of stereotyped calling of a killer whale calf, *Orcinus orca*, during her first year. *Rit Fiskideildar* **11**: 251-275.

BREKHOVSKIKH, L.M y LYSANOV Y.P. 1991. *Fundamentals of Ocean Acoustics*. 2ª ed. Springer-Verlag, Berlin-Heidelberg. 273pp.

CRANE, N. L. y LASHKARI K. 1996. Sound production of gray whales, *Eschrichtius robustus*, along their migration route: A new approach to signal analysis. *The Journal of the Acoustical Society of America* **100**: 1878-1886.

DAHLHEIM, M. E. 1987. Bio-acoustics of the gray whale (*Eschrichtius robustus*). Tesis de doctorado, University of British Columbia, Canada. 315 pp.



DEECKE, V. B., FORD J. K. B. y SPONG P. 2000. Dialect change in resident killer whales: implications for vocal learning and cultural transmission. *Animal Behaviour* **60**: 629-638.

DEDINA, S. y YOUNG E.H. 1995. Conservation and development in the gray whale (*Eschrichtius robustus*) lagoons of Baja California Sur, México. *Report the U.S. Marine Mammal Commission*. México. 57 pp.

FLEISCHER, L. A. y BEDDINGTON J. 1985. Seasonal abundance, reproduction and early mortality rates of gray whales (*Eschrichtius robustus*) in Mexican waters (1980-1985). *Paper SC/37/PS22 presented to the IWC Scientific Committee*, C. C. D. L. C. B. INTERNACIONAL (IWC), EE.UU. *Junio 1985*. 48 pp.

GARD, R. 1974. Aerial census and population dynamic study of gray whale in Baja California Lagoons, 1970 and 1973, with notes on behaviour, mortality and conservation. *California Fish Game* **60(3)**:132-144.

GILMORE, R.M.1960. Census and migration of the California gray whale. *Nor Hvalfangst-Tid*. **49(9)**: 409- 431.

GÓMEZ-GALLARDO, U. 2004. Uso de la Laguna San Ignacio por la ballena gris *Eschrichtius robustus*, durante las temporadas invernales de 1996 y 1997. Tesis de Maestría.



Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas. Instituto Politécnico Nacional. La Paz, BCS México. 84 pp.

GUERRA, C. R. 2008. Aguas muy poco profundas en acústica submarina. Factores que limitan la propagación de señales. *Revista de Acústica*. **38 (1, 2)**: 16- 27.

GUERRA, M. 2009. Summary Report of Acoustic Measurements in San Ignacio Lagoon Laguna San Ignacio Ecosystem Science Program winter Season, 2009.15 pp. <http://saignacioecosystem.info/es/2010/02/investigacion-acustica-2009/>

GUERRA, M., THODE A., WISDOM S., GONZALEZ S., URBAN J. y SUMICH J. 2005. Diurnal vocal activity of gray whales in Laguna San Ignacio, BCS, Mexico. *The Journal of the Acoustical Society of America* **118**: 1939-1939.

HENDERSON, D. A. 1984. Nineteenth century gray whale whaling: grounds, catches and kills. Practices and depletion of the whale population. Pp 159-186. En: Jones M.L., Swartz S.L. y Leatherwood S. (Eds). *The Gray Whale *Eschrichtius robustus**. Academic Press, Orlando. 600 pp.

HUBBS, C.L. y HUBBS L.C. 1966. Gray Whale censuses by airplane in México. Cal. Fish Game **53(1)**: 23-27.



JONES, M. L. y SWARTZ S. L. 1984. Demography and phenology of gray whales and evaluation of whale-watching activities in Laguna San Ignacio, Baja California Sur, Mexico. Pp 309-374. En: Jones, M.L., Swartz, S.L. y Leatherwood, S. (Eds.) *The Gray Whale Eschrichtius robustus*, Academic Press, Orlando. 600 pp.

JONES, M. L., SWARTZ S. L. y DAHLHEIM M. E. 1984. Census of gray whale abundance in San Ignacio Lagoon: a follow-up study in response to low whale counts recorded during an acoustic playback study of noise-effects on gray whales. *Report for the US Marine Mammal Commission, Washington DC NTIS PB94-195062*. 40 pp.

KIM, S. L. y OLIVER J. S. 1989. Swarming benthic crustaceans in the Bering and Chukchi seas and their relation to geographic patterns in gray whale feeding. *Canadian Journal of Zoology* **67**: 1531-1542.

LEATHERWOOD, J.S. 1974. Aerial observation of migrating gray whales, *Eschrichtius robustus*, off southern California, 1969-1972. *Mar. Fish. Rev.* **36 (4)**:50-64.

MCDONALD, M. A., CALAMBOKIDIS J., TERANISHI A. M. y HILDEBRAND J. A. 2001. The acoustic calls of blue whales off California with gender data. *The Journal of the Acoustical Society of America* **109**: 1728-1735.



MOORE, S. E., GREBMEIER J. M. y DAVIES J. R. 2003. Gray whale distribution relative to forage habitat in the northern Bering Sea: current conditions and retrospective summary. *Canadian Journal of Zoology* **81**: 734-742.

OLLERVIDES, F. y ROHRKASSE S. 2007. Repertorio acústico de la ballena gris (*Eschrichtius robustus*) en Bahía Magdalena. Pp 263-274. En: Funes-Rodriguez R, Gomez Gutierrez J, Palomares-García R (Eds). Estudios ecológicos en Bahía Magdalena. CICIMAR-IPN, La Paz, Baja California Sur, México.

PAYNE, R. S. y VAY M. 1971. Songs of Humpback Whal. *Science* **173**: 585-597.

REEVES, R. R. 1984. Modern commercial pelagic whaling for gray whales. Pp 187–202. *The Gray Whale Eschrichtius robustus*.

RICE, D. W. y WOLMAN A. A. 1971. The life history and ecology of the gray whale (*Eschrichtius robustus*). *Special publication*. **3**: 1-142.

RICHARDS, D.G., WOLZ, J.P., y HERMAN, L.M. 1984. Vocal mimicry of computer-generated sounds and vocal labeling of objects by a bottlenosed dolphin, *Tursiops truncatus*. *Journal of Comparative Psychology* **98**:10-28.

RICHARDSON, W. J., GREENE C. R., MALME C.I., THOMSON D. H. 1995. *Marine mammals and noise*. Academic Press, San Diego. 576 pp.



URBÁN J.R., ROJAS L.B., PÉREZ CORTÉS H., GÓMEZ-GALLARDO A., SWARTZ S.L. LUDWIG S. Y BROWNELL R.L. JR. 2003. A review of gray whales (*Eschrichtius robustus*) on their wintering grounds in Mexican waters. *J. Cetacean Res. Manage* **5**: 281-295.

URICK, R .J. 1996. Principles of underwater sound. Peninsula Pub. 307pp.

WINANT, C.D. y GUTIÉRREZ DE VELASCO G.1999. Impacto del desarrollo de los Salitrales de San Ignacio sobre las corrientes y propiedades del agua de la Laguna de San Ignacio, B.C.S. Reporte Técnico Final. Convenio con la UABCS No. 971343. Center for Coastal Studies, Scripps Institution of Oceanography, University of California, San Diego. 59 pp.

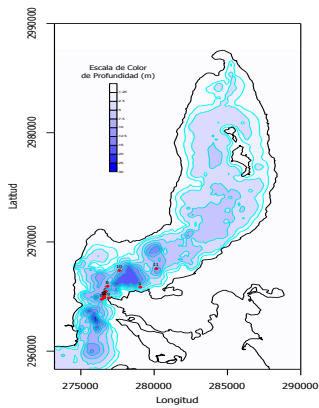
WINN, H. E. y WINN L. K. 1978. The song of the humpback whale *Megaptera novaeangliae* in the West Indies. *Marine Biology* **47**: 97-114.

Wisdom, S. 2000. Development of Sound Production in the Gray Whale (*Eschrichtius robustus*). Tesis de maestría, Universidad of San Diego, EE.UU. 122 pp.

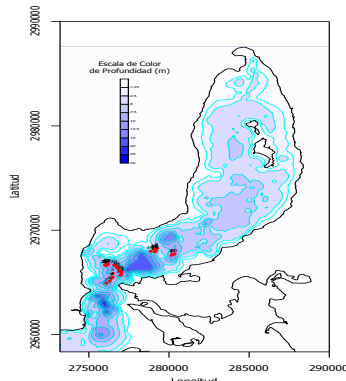


ANEXO 1

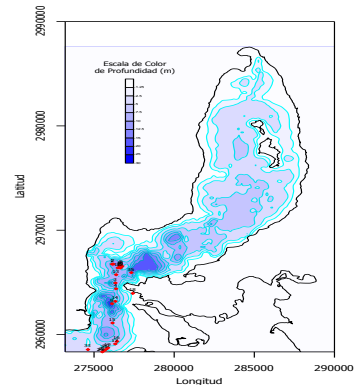
A continuación se muestran las rutas seguidas por ocho ballenas en la Laguna San Ignacio plasmadas sobre el mapa batimétrico de la laguna. Los puntos rojos son los datos del GPS tomados desde la panga y que muestran la trayectoria realizada por la ballena. En la parte inferior de cada mapa, se muestra el nombre y fecha de la ballena marcada.



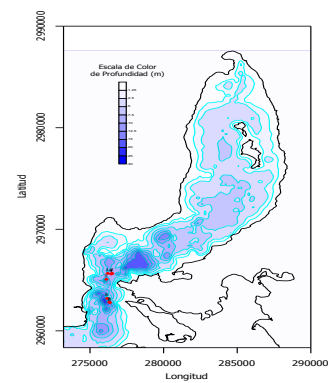
Hector01/marzo/2008



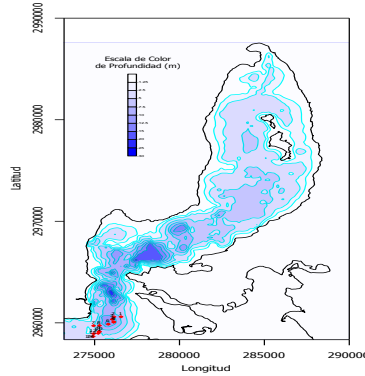
Ema02/marzo/2008



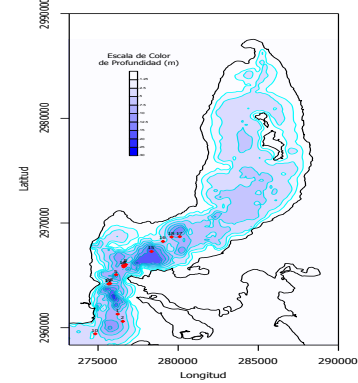
Maricela/06/marzo/2008



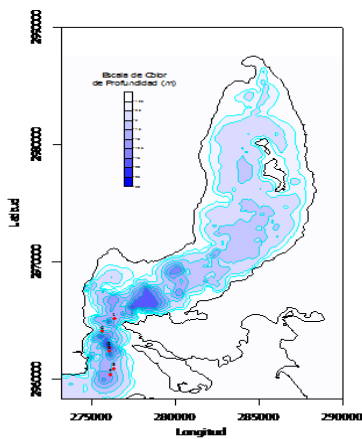
Roko/15/marzo/2009



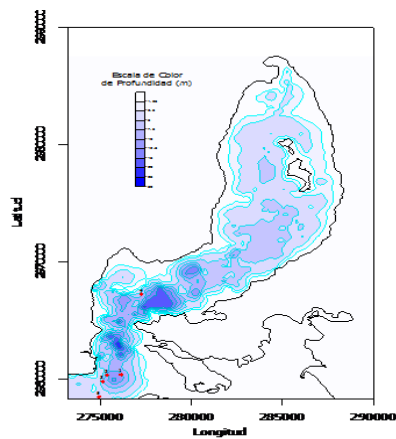
Sara/16/marzo/2009



Toña/17/marzo/2009



Uri/18/marzo/2009



Victoria/20/marzo/2009





A los 15 años un sueño inició en mi vida: conocer y estudiar a las ballenas; a esa edad era sólo eso, un sueño.

Al llegar a la Universidad me di cuenta que ese sueño era alcanzable y que podía hacerlo realidad.

Una tarde platicando con mi mejor amigo, le conté mi sueño y él contestó: "Estoy seguro que algún día lo harás realidad" de repente sus ojos se llenaron de lágrimas y yo pregunté ¿qué te pasa?; me contestó: Siempre he sabido que algún día te tienes que ir de mi lado, pero no pensé que fuera tan pronto.

Hoy, le respondo a mi mejor amigo. Papá:

Siempre supe que algún día te irías de mi lado, pero no pensé que fuera tan pronto y sé que desde donde estás puedes darte cuenta que este sueño se hizo realidad y el motor que me ayudó a llevarlo a cabo fue tu confianza plena y tu amor incondicional hacia mí.

TE AMO PAPÁ



