

**CENTRO DE INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA Y DE EDUCACIÓN SUPERIOR DE
ENSENADA**



**PROGRAMA DE POSGRADO EN CIENCIAS
EN ECOLOGÍA MARINA**

Interacción acústica de cetáceos menores en el Alto Golfo de California, México

Tesis

Que para cubrir parcialmente los requisitos necesarios para obtener el grado de
Maestro en Ciencias

Presenta

Myriam Campos Aguilar

Ensenada, Baja California, México
2012

Resumen de la tesis de Myriam Campos Aguilar presentada como requisito parcial para la obtención del grado de Maestro en Ciencias en Ecología Marina.

Interacción acústica de cetáceos menores en el Alto Golfo de California, México

Resumen aprobado por:

Dr. Horacio Jesús de la Cueva
Salcedo
Codirector del comité

Dr. Armando Martín Jaramillo
Legorreta
Codirector del comité

Tres de los odontocetos menores del Alto Golfo de California (AGC), *Delphinus delphis* (Delfín común), *Tursiops truncatus* (Delfín nariz de botella) y *Phocoena sinus* (Vaquita) tienen estrategias de supervivencia similares en la ecolocación, que les ayuda a evadir depredadores, buscar presas y construir su percepción del ambiente, su dieta se basa en peces y moluscos. Las tres especies son depredadores tope y pudieran interactuar. *P. sinus* está en la categoría de peligro crítico en la lista roja de la International Union for the Conservation of Nature (IUCN), es endémica al AGC, área caracterizada por regímenes de marea semi-diurnos de gran dinámica, y alta energía y gran productividad. La pesca incidental ha disminuido rápidamente la población de *P. sinus*. Mediante muestreos acústicos entre 2001 y 2008, para el monitoreo de *P. sinus* se obtuvieron señales acústicas de ecolocación de delfines donde se buscaron coincidencias espacio-temporales con las emisiones de *P. sinus*. Se calcularon alturas de la marea para todos los días de muestreo y tres días antes, para crear un espectro de velocidad y magnitud de la marea. Solo se encontró una instancia de coincidencia espacio temporal, las fonaciones de *P. sinus* se encontraron en pleamar o en zonas donde aumenta repentinamente la velocidad al pasar bajamar, por lo que se puede concluir que la distribución espacial podría estar determinada por la presencia de delfines de las dos especies más abundantes en el Golfo de California y la distribución temporal de *P. sinus* podrá deberse a los regímenes de marea que se presenten en la zona del Alto Golfo de California donde se distribuye.

Palabras clave: ***Phocoena sinus*, *Tursiops truncatus*, *Delphinus delphis*, ecolocación, velocidad de marea.**

Abstract of the thesis presented by Myriam Campos Aguilar as a partial requirement to obtain the Master of Science degree in Marine Ecology.

Acoustic interaction of small cetaceans in the Upper Gulf of California, Mexico

Abstract approved by:

PhD. Horacio Jesús de la Cueva
Salcedo
Co-director of thesis

PhD. Armando Martín Jaramillo
Legorreta
Co-director of thesis

Three of the odontocetes in the upper Gulf of California (UGC), *Delphinus delphis* (Common dolphin), *Tursiops truncatus* (Bottlenose dolphin), and *Phocoena sinus* (Vaquita) have similar echolocation survival strategies, which help them avoid predators, search for prey and construct a perception of it, their diet is mainly fish and shellfish. The three species are top predators and could interact. *P. sinus* is in the category of critically endangered on the International Union for the Conservation of Nature (IUCN) Red List, is endemic to UGC, a sea characterized by semi-diurnal, highly dynamic, and energetic tides, and high productivity. Bycatch of *P. sinus* has diminished rapidly its population. With the acoustic surveys from 2001 to 2008 to monitor *P. sinus* acoustic signals of dolphin echolocations were obtained with space and time information. Coincidences with emissions of *P. sinus* were identified. Also tidal heights for all sampling days and three previous days are calculated to create a range of speeds and magnitudes of the tide. There was only one instance of space-time coincidence. The phonations of *P. sinus* were found at the time of high tides or in areas where the tide velocity increases suddenly during the rising tide. It can be concluded that the spatial distribution could be determined by the presence of dolphins from the two most abundant species in the Gulf of California and the temporal distribution of *P. sinus* may be due to tidal regimes that occur in the Upper Gulf of California where *P. sinus* is found.

Keywords: ***Phocoena sinus*, *Tursiops truncatus*, *Delphinus delphis*, echolocation, tidal speed.**

**Para desembarcar en la isla de la sabiduría hay que
navegar en un océano de aflicciones.**

Sócrates

Dedicatoria**A mis padres**

Teresa y Antonino

A mis Hermanos

Cesar y Sergio

A mi Abuelita Enedina

Quien siempre me ha demostrado todo su cariño

A la familia Aguilar, mi familia**A la familia Ponciano Gómez****Al quien siempre va conmigo aun a la distancia**

Alberto

Quisalan elevas

Agradecimientos

A CICESE, por haberme recibido como estudiante y ser la parte primordial de mi formación como profesional y persona.

A CONACyT por el apoyo económico otorgado, a lo largo de esta maestría por medio del numero de becario 356491.

A mis co-asesor Dr. Horacio de la Cueva, por su apoyo e ideas para este proyecto, así como por su amistad y grandes consejos.

A mi co-asesor Dr. Armando Jaramillo por haberme proporcionado la materia prima para este proyecto de tesis, asesorarme y proporcionarme su tiempo.

A mi sinodal Dr. Raúl Castro, por las ideas aportadas a esta tesis, y toda su disposición y tiempo.

A Dr. Oscar Sosa y M. en C. Vicente Ferreira, por sus grandes ideas y aportaciones a este trabajo, además por sus gran apoyo tanto profesional como personal.

A Elizabeth Farias por todo el apoyo que me brindo con los trámites y también gracias Eli por ser no solo la secretaria del posgrado sino también consejera y psicóloga, sin ti todo seria más difícil.

Ante todo a mis padres, que me han enseñado a salir adelante, a siempre ver las cosas positivas y a luchar por los objetivos de la vida.

A mis hermanos por siempre ser el apoyo y la protección incondicional en mi vida.

A mi abuelita Enedina, por consentirme toda mi vida y por siempre esperar lo mejor de mí.

Como siempre a la familia Aguilar, que no es necesario mencionar a cada uno, porque siempre han sido una familia unida y dispuesta a apoyar en el momento que sea necesario.

A la familia Ponciano Gómez, por siempre acogerme como un miembro más de su familia sin distinción, y permitirme dejar un cachito de mí en todos ustedes y por supuesto por dejarme aprender de la gran familia que son, los quiero a todos.

A toda esa familia que se ha formado en Ensenada, Eli Gahona, Erick, Mirayana Pablo, Raquel, Tannia y Tere (Nótese el orden alfabético), a los cuales quiero inmensamente, y siento conocer de toda la vida, saben que cuentan conmigo para todo y que mi corazón esta dividido, en Brasil, Chile, el D.F., España, Merida, Tabasco y claro en Ensenada, la ciudad que enseña mucho sin darse cuenta.

A ti Alberto por ser mi gran soporte en esta aventura y demostrarme todos los días tu amor con hechos y con palabras también y demostrarme que con esfuerzo todo es posible, y sobre todo por desde hace más de 5 años ser mi compañero de vida.

Contenido

Resumen	1
Abstract.....	2
Dedicatoria.....	4
Gradecimientos.....	5
Contenido	6
Lista de figuras.....	7
Lista de tablas.....	9
1. Introducción.....	10
1.1. Características biológicas	10
1.2. Utilización del sonido	17
1.3. Uso de hábitat y recursos compartidos.....	26
1.4. Acústica pasiva.....	28
1.5. Justificación	29
1.6. Hipótesis.....	30
1.7. Objetivos.....	31
2. Materiales y métodos.....	32
2.1 Área de estudio.....	32
2.2 Registros acústicos.....	34
2.3 bases de datos de registros acústicos	39
2.4 Identificación de encuentros acústicos de delfines	39
2.5 Tasa de encuentros acústicos	45
2.6 Coincidencias acústicas espacio-temporales entre delfines y <i>phocoena sinus</i>	46
2.7 componentes de la marea	47
3. Resultados.....	50
3.1 identificación de señales acústicas de <i>p. Sinus</i> , y delfines (<i>d. Delphis</i> y <i>t. Truncatus</i>).....	50
3.2 tasa de encuentro acústico	54
3.3 coincidencias acústicas espacio-temporal	59
3.4 componente vertical de la marea	67
4. Discusión	71
5. Conclusiones	76
6. Referencias bibliográficas.....	77
Apéndice A.....	1
Apéndice B.....	4
Apéndice C.....	10

Lista de figuras

Figura 1. Morfología de <i>Phocoena sinus</i> . (a, b) Vista lateral, (c) Vista lateral de la cabeza y (d) vista ventral de la boca (Perrin <i>et al.</i> 2009, p.1196).....	11
Figura 2 Cráneo de <i>Phocoena sinus</i> (Jefferson <i>et al.</i> , 2008, p. 508).	12
Figura 3. Esquema de <i>Tursiops truncatus</i> (NLBIF, 1993).	14
Figura 4. Cráneo de <i>Tursiops truncatus</i> (Jefferson <i>et al.</i> , 2008, p. 511).	14
Figura 5. Esquema de <i>Delphinus delphis</i> (NLBIF, 1993).	16
Figura 6. Cráneo de <i>Delphinus delphis</i> (Jefferson <i>et al.</i> , 2008, 513).	16
Figura 7. Proceso de ecolocación en <i>T. truncatus</i> (Berta <i>et al.</i> , 2006, p. 290).....	21
Figura 8. Estructuras asociadas a la producción de sonido en <i>T. truncatus</i> (modificado por Ponciano Gómez de Berta <i>et al.</i> , 2006, p.276).....	22
Figura 9. Señales típicas de ecolocación de <i>Phocoena phocoena</i> y <i>Tursiops truncatus</i> (Au y Lammers, 2007, 817).	24
Figura 10. Área de estudio: Alto Golfo de California.	33
Figura 11. Mapas de las trayectorias de muestreo en el Alto Golfo de California por año a) 2001, b) 2002, c) 2003, d) 2005, f) 2006, g) 2007 y h) estaciones fijas de muestreo de todos los años.	38
Figura 12. Programa Porpoise Detector: Señales acústicas filtradas: a) La banda azul es la frecuencia centrada en los 50kHz (señales acústicas de delfín), b) banda verde esta centrada en los 71 kHz y c) La banda roja se encuentra entre los 115 y 145 kHz (señal acústica tipo vaquita)...	41
Figura 13. Visualización característica de una señal de delfín, donde se muestra un aumento de energía en el panel superior (vista tipo vaquita), y oscilaciones de banda ancha en la ventana inferior (vista tipo espectro).	43
Figura 14. Visualización característica de una señal acústica tipo vaquita.	44
Figura 15. Estaciones de medición de mareas, delimitación de acuerdo a cada estación de medición de MIV1.0 CICESE.	48

Figura 16. Encuentros acústicos de delfines (<i>Tursiops truncatus</i> y <i>Delphinus delphis</i>) y <i>Phocoena sinus</i> , en todos los años de muestreo.	51
Figura 17. Encuentros acústicos de <i>Phocoena sinus</i> (Jaramillo Legorreta, 2008) y delfines (<i>Tursiops truncatus</i> y <i>Delphinus delphis</i>) por número acumulado de identificaciones acústicas	53
Figura 18. Encuentros acústicos de delfines en las estaciones de muestreo de 2001.....	57
Figura 19 Encuentros acústicos de delfines en las estaciones de muestreo de 2002.....	58
Figura 20. Encuentros acústicos de delfines en las estaciones de muestreo de 2006.....	58
Figura 21. Encuentros acústicos de delfines en las estaciones de muestreo de 2007.....	59
Figura 22. Distribución espacial de los encuentros acústicos de <i>Phocoena sinus</i> y <i>Tursiops truncatus</i> en el 2001.....	60
Figura 23. Distribución espacial de los encuentros acústicos de <i>Phocoena sinus</i> y delfines (<i>Tursiops truncatus</i> y <i>Delphinus delphis</i>) en el 2002.	61
Figura 24 Distribución espacial de los encuentros acústicos de <i>Phocoena sinus</i> y delfines (<i>Tursiops truncatus</i> y <i>Delphinus delphis</i>) en el 2006.	62
Figura 25. Encuentros acústicos de <i>Phocoena sinus</i> antes y después de los encuentros de delfines.....	65
Figura 26. Tasa de encuentro de <i>P. sinus</i> con respecto a la tasa de encuentro de los delfines.....	66
Figura 27. Encuentros acústicos de vaquita ajustados a una distribución exponencial.....	67
Figura 28. Magnitud de la marea: Día de muestreo y tres días anteriores de acuerdo a la zona de medición de mareas.	70

Lista de tablas

Tabla 1. Tasa de encuentro acústico mensual de delfines, durante estaciones de muestreo y trayectorias	55
Tabla 2. Tasa de encuentro de Delfines en estaciones fijas para el monitoreo de <i>Phocoena sinus</i> durante todos los años de muestreo, por crucero y por estación.....	56
Tabla 3. Coincidencias espaciales de <i>P. sinus</i> previos al encuentro de delfines, hora de encuentros acústico.	64
Tabla 4. Coincidencias espaciales de <i>P. sinus</i> posteriores a los delfines, hora de encuentro acústico	64

1. Introducción

Dentro de la gran diversidad marina del Alto Golfo de California Silber *et al.* (1994) observaron siete especies de cetáceos, dentro de estos se encontraron tres especies de cetáceos menores (odontocetos) con mayor abundancia, delfín nariz de botella (*Tursiops truncatus*), vaquita (*Phocoena sinus*) y delfín común (*Delphinus delphis*), que al ser las especies de cetáceos más abundantes, podría ser útil conocer su distribución y la existencia de traslapo acústico entre estas especies, que representa la estrategia más utilizada para el reconocimiento de presas, depredadores y del ambiente en general, para conocer la dinámica entre estas especies en el Alto Golfo de California.

1.1. Características biológicas

Para conocer mejor los procesos ecológicos que afectan la distribución y dinámica de las especies de cetáceos menores en el Alto Golfo de California, se necesita conocer las características biológicas de cada especie.

Phocoena sinus (Norris y McFarland, 1958)

La vaquita o marsopa del Golfo de California (*Phocoena sinus*, (Norris y McFarland, 1958)) es un odontoceto perteneciente a la familia Phocoenidae; es uno de los cetáceos más pequeños (Jefferson *et al.*, 1993).

La longitud media de las hembras es de aproximadamente 140.6 cm y los machos son ligeramente más pequeños con 134.9 cm de longitud aproximada (Rojas Bracho, y Jaramillo Legorreta, 2009).

P. sinus es robusta, tiene aletas pectorales largas y redondeadas, la aleta dorsal se encuentra ligeramente falcada. El hocico es corto, por lo que la cabeza es redondeada (fig. 1a y b, Rojas Bracho y Jaramillo Legorreta, 2009).

Phocoena sinus tiene un patrón de pigmentación particular, con el dorso gris oscuro, el cual se desvanece a un gris claro en los costados y el vientre es de color blanco, posee pigmentación oscura alrededor de los ojos y en el contorno de la boca (fig. 1c), las crías suelen ser más oscuras que los adultos. Otra característica son los dientes en forma de espátula (fig. 1d, Jefferson *et al.*, 1993).

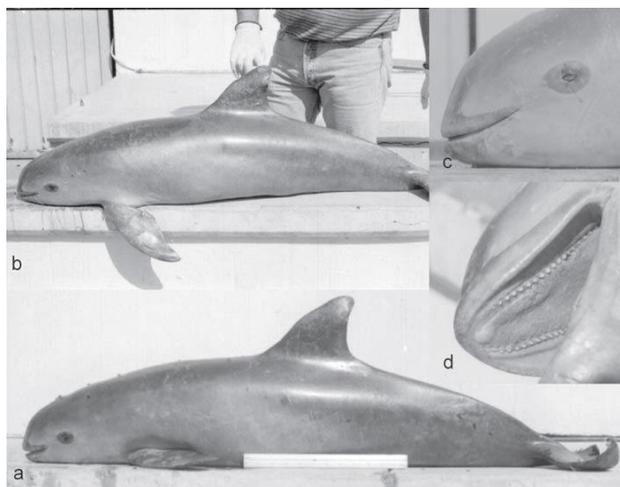


Figura 1. Morfología de *Phocoena sinus*. (a, b) Vista lateral, (c) Vista lateral de la cabeza y (d) vista ventral de la boca (Perrin *et al.* 2009, p.1196).

P. sinus es una especie muy cercana filogenéticamente a *Phocoena phocoena*, las principales diferencias se dan a nivel craneal y fueron descritas por Norris y McFarland (1958). Estos autores encontraron que los individuos adultos de *P. sinus* presentan un cráneo más pequeño y relativamente más ancho y corto, el eje basicranial se encuentra desviado hacia abajo en un ángulo mayor, en relación con el eje horizontal del *rostrum* y el *foramen magnum* que es relativamente mayor, del hueso maxilar no entra en la órbita, que es excluido por el margen lateral del hueso frontal, en lugar de cubrir completamente el margen lateral del frontal y entrar en la órbita, maxilar (fig. 2).

El borde del paladar de *P. sinus* tiene la dentición en forma de U mientras que en *P. phocoena* el borde posterior del paladar tiene forma de W, formado por los huesos puntiagudos (Norris y McFarland, 1958). También se ha encontrado que en *P. sinus* la mandíbula superior tiene de 16 a 22 pares de dientes y en la inferior de 17 a 20 pares (Jefferson *et al.*, 1993).

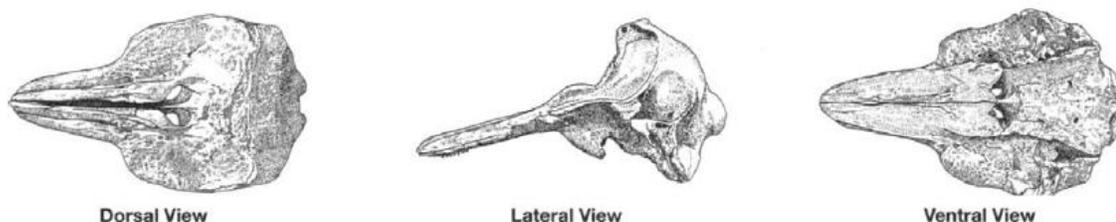


Figura 2 Cráneo de *Phocoena sinus* (Jefferson *et al.*, 2008, p. 508).

Aun cuando *P. sinus* esta emparentada con *P. phocoena*, Claudine *et al.* (2007) encontraron en estudios filogenéticos, que el genero *Phocoena* es parafilético, es decir, que no se incluyen todos los descendientes de el último antepasado común (Rédei, 2008). A este genero pertenecen cuatro especies, estando mas emparentadas filogenéticamente *P. sinus* y *P. spinipinnis*, por otra parte *P. phocoena* y *Phocoenoides dalli*.

P. sinus se encuentra distribuida sólo al norte del Golfo de California alrededor de los 30° 45' N y 114° 20'W, en una extensión total de 4000 km² (Rojas Bracho *et al.*, 2006), por lo que es el único cetáceo endémico de México y es el cetáceo con la especie con menor distribución geográfica más pequeña (Vidal *et al.* 1999).

El hábitat se caracteriza por ser una zona poco profunda (11-50 m) a una distancia de la costa aproximada de 10-25 km, tener aguas cálidas con poca visibilidad, ya que son áreas arenosas-arcillosas (Álvarez y Jones, 2004; Jefferson *et al.*, 1993).

Por poseer preferencias de hábitat muy especializadas, y por esto un área de distribución reducida, además de la intensa actividad pesquera del área, que provoca contaminación acústica y sobre todo pesca accidental, *Phocoena sinus* se encuentra en la categoría de peligro crítico, dentro de la lista roja de la

International Union for the Conservation of Nature (IUCN, 2012) y bajo la categoría de protección especial en México y considerada como especie con distribución restringida o extralimitada, por el Método de Evaluación de Riesgo de Extinción de las Especies Silvestres en México, dentro de la NOM-059-2010 (DOF, 2010).

Tursiops truncatus. (Montagu 1981)

El delfín nariz de botella (*Tursiops truncatus*, (Montagu, 1981)) es un odontoceto de la familia Delphinidae, caracterizada por tener dientes aplanados (Montagu, 1981), es uno de los delfines mas conocidos, su distribución es cosmopolita, se han estimado en todo el mundo 600,000 organismos de esta especie (Wells, 2009), encontrándose principalmente en aguas templadas de mares tropicales; en algunas regiones existen formas tanto costera como oceánicas.

Anatómicamente *T. truncatus* es robusto de un tamaño medio que va de 2.5 m a 3.8 m, el tamaño puede variar de acuerdo a la ubicación geográfica. Esta variación responde al efecto inversamente proporcional del tamaño del cuerpo con la temperatura del agua. Sin embargo esta relación no aparece en aquellos organismos distribuidos en el este del océano Pacífico (Mead y Potter, 1990; Read *et al.*, 1993). Los rangos de distribución de la especie parecen estar determinados indirectamente por la temperatura del agua, de acuerdo a la distribución de las presas. Esta especie se ha adaptado a una gran variedad de ambientes tanto marinos como estuarinos, siendo prácticamente cosmopolita, distribuyéndose en aguas tropicales y subtropicales (Wells, 2009).

El peso máximo que llega a tener esta especie es de 650 kg, sin embargo la mayoría de los organismos son más pequeños (NLBIF, 1993). La aleta dorsal es ligeramente falcada y el cuerpo tiene una coloración oscura, algunas veces es moteado en el vientre y en las zonas mas bajas del cuerpo como se muestra en la figura 3 (Mead y Potter, 1990; Read *et al.*, 1993).



Figura 3. Esquema de *Tursiops truncatus* (NLBIF, 1993).

El cráneo de *T. truncatus* es amplio, con un morro característicamente corto (fig. 4), las variaciones mínimas encontradas entre diferentes poblaciones de delfín nariz de botella, parece estar relacionado con diferencias ecológicas; cuenta con 18 a 26 pares de dientes en cada una de las mandíbulas (Wells y Scott, 1999).

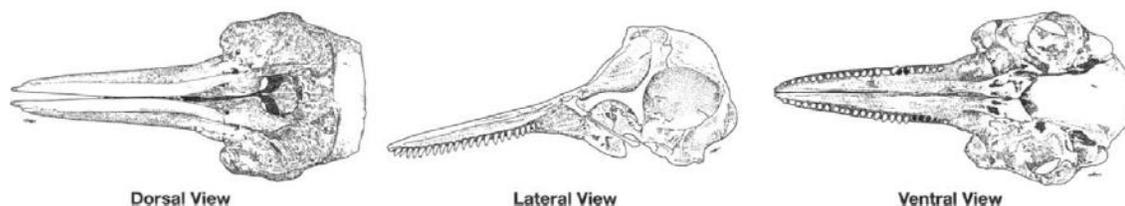


Figura 4. Cráneo de *Tursiops truncatus* (Jefferson et al., 2008, p. 511).

La alimentación de *T. truncatus*, es generalista de acuerdo al tipo de presa, sin embargo hay diferencias de acuerdo al lugar de alimentación, el tamaño y el sexo de los organismos, las hembras con crías se encuentran alimentándose más cercanas a la costa, los juveniles un poco más alejados y los adultos tanto hembras sin cría como machos se alimentan más oceánicamente (Wells, 2009).

Tursiops truncatus es una especie que actualmente se encuentra dentro de la categoría de preocupación menor en la lista roja, por lo que no tiene medidas de

protección internacional (IUCN, 2012). Para México *T. truncatus* se encuentra en la categoría de protección especial (DOF, 2010).

Delphinus delphis (Linnaeus, 1758)

Delphinus delphis, el delfín común, es uno de los delfines oceánicos más comunes, se encuentra distribuido en aguas templadas tanto en el océano Pacífico como en el Atlántico (Perrin, 2009). Una de las principales características externas de la especie es la coloración, sin embargo es difícil de utilizar en la taxonomía, porque los patrones de coloración varían de población en población, sólo esta especie posee un patrón de coloración en forma de V en el costado posterior (Evans, 1994).

El tamaño promedio de un individuo de *D. delphinis* al nacer es aproximadamente de 0.80 a 0.85 m de longitud, los adultos miden de 1.6 a 2.3 m encontrando que las hembras son un poco más pequeñas (NLBIF, 1993).

La coloración de *D. delphis* se caracteriza por un color marrón oscuro-gris, vientre blanco, un parche ocre y marrón en el tórax. Este parche torácico llega por debajo de la aleta dorsal y se combina con un área que tiene un patrón de líneas grises claro que llega hasta la cola produciendo lo más característico de la coloración, el patrón de reloj de arena a los costados, teniendo en el parche torácico una coloración más ligera como se muestra en la figura 5 (Jefferson *et al.*, 2008).

La coloración en esta especie también se da por dimorfismo, es decir, el área cercana a la zona de la abertura genital los machos tiene una coloración negro brillante, a su vez la hembra presenta un patrón de bandas negras y blancas, sobre la zona genital (Evans, 1994).

La aleta dorsal es alta, delgada y falcada, tienen un pliegue marcado entre el morro y el melón el cual es característicamente esférico, además de que esta

especie se caracteriza por tener una joroba de tejido conectivo en forma de quilla, en la zona anal (Perrin, 2009).



Figura 5. Esquema de *Delphinus delphis* (NLBIF, 1993).

El número de dientes varía de acuerdo al área de distribución, en general va de 45 a 60 en cada una de las mandíbulas, la cantidad de dientes está relacionada con la longitud del morro que va de 210 a 260 mm (fig.6), cabe mencionar que la mayor longitud registrada del morro se ha encontrado en organismos distribuidos al sur de California, en Baja California tanto en el Pacífico como en el Golfo de California (Evans, 1994).

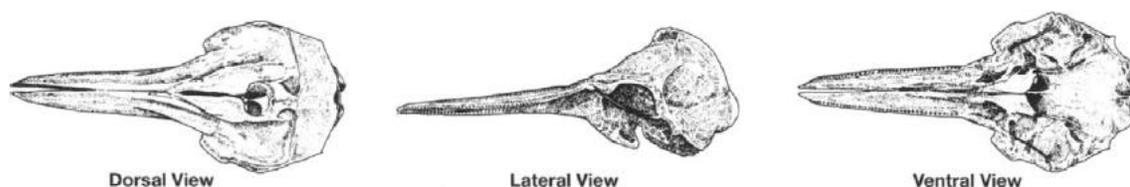


Figura 6. Cráneo de *Delphinus delphis* (Jefferson et al., 2008, 513).

Delphinus delphis se distribuye principalmente en aguas templadas, tropicales y subtropicales. En el océano Pacífico se ha registrado entre latitudes 40°N y 40°S en zonas del océano Atlántico se ha reportado entre los 50°N y 40°S, encontrándose en zonas costeras y hasta de 200 m de profundidad en promedio (Perrin, 2009). Por lo anterior Evans (1975), en Evans (1994), concluyó que la

distribución de esta especie esta estrechamente relacionada con la temperatura del agua y la topografía del fondo, ya que prefieren zonas con geografía del fondo accidentado.

Delphinus delphis es una especie en la categoría de menor preocupación dentro de la lista roja (IUCN, 2012), para México esta especie se encuentra en la categoría de protección especial (DOF, 2010).

1.2. Utilización del sonido

Los mamíferos marinos, al igual que los mamíferos terrestres, se enfrentan a los problemas de encontrar y capturar presas, evadir depredadores, orientarse en el espacio, encontrar y seleccionar pareja y cuidar de la descendencia. Para los mamíferos marinos, el resolver estos problemas, conlleva a un costo y beneficio en la utilización de herramientas sensoriales especializadas que podrían ser utilizadas para solventar estos problemas. Estas modificaciones se pueden reflejar en la morfología, anatomía y fisiología de los mamíferos marinos (Tyack y Miller, 2002).

Ya que el sonido viaja en el agua aproximadamente cinco veces más rápido que en el aire donde tiene una velocidad de 340 m/s (Berta *et al.*, 2006) contra 1450 y 1550 m/s en el agua (Kuperman y Roux. 2007) y el rango de visión es limitado, la transmisión de sonido en el agua favorece la comunicación y reconocimiento del hábitat. Además de que esta modalidad sensorial ha sido seleccionada por la evolución para desarrollarse como ecolocación en los cetáceos (Tyack y Miller, 2002).

Propagación acústica en el agua

La transmisión de sonidos de origen biológico está formada a través de procesos de selección natural dentro de un ambiente con presiones ecológicas, que tiene componentes tanto bióticos como abióticos. Los bióticos consisten principalmente

en la influencia de otros organismos dentro del ecosistema, los abióticos sin embargo son atributos físicos como: la temperatura, la velocidad de transmisión en el medio y la presión en el medio de transmisión (Bass y Clark, 2003). Para ambientes acuáticos, la salinidad también juega un papel muy importante, además de que la presión esta dada por la profundidad a la que se emite y recibe el sonido (Kuperman y Roux. 2007). Sabiendo que la velocidad de las ondas de sonido dentro del agua es calculada por medio de la siguiente ecuación (Berta *et al.*, 2006):

$$\text{Velocidad (m/s)} = \text{Frecuencia (vibraciones/s)} \times \text{longitud de onda (m)} \quad (1)$$

Considerando la velocidad del sonido constante dentro del agua, la longitud varía con la frecuencia de la transmisión. Teniendo entonces que las altas frecuencias se atenúan más rápidamente pero tienen la capacidad de proveer de más información acerca del objetivo, las bajas frecuencias tienen menor resolución de información ya que tiene una longitud de onda larga, sin embargo se atenúan lentamente, por lo que proporcionan información no detallada pero si de la presencia de objetos lejanos. Debido a que la resolución del sonido depende directamente de la longitud de onda, la medida de propagación energética de las ondas sonoras dentro del agua, la intensidad es medida en dB (Berta *et al.*, 2006 a)).

Ecolocación

Los cetáceos en general tienen sentidos agudos, como una buena visión tanto en aire como en el medio acuático, sin embargo, al estar en ambientes turbios, les es complicado reconocer su ambiente, con la excepción del olfato, que es probablemente casi inexistente en este grupo (Dehnhardt, 2002), en cuanto a los sentidos químicos como el gusto y el olfato, este último se encuentra poco desarrollado y casi nulo en odontocetos adultos (Jefferson, 2008 (c)). El tacto ha sido muy poco estudiado, y se ha relacionado más con pocas especies de odontocetos que poseen estructuras como bigotes, y se cree aportan información

sobre alteraciones principalmente en la temperatura del agua a corta distancia (Thewissen, 2009). En cuanto al gusto, la lengua, es una estructura más simple respecto a los mamíferos terrestres, ya que la lengua de los cetáceos solo posee papilas gustativas en la base o no las posee (Berta *et al.* 2006 b)). Sin embargo se *ha mostrado por medio de métodos electrofísicos que Tusiops truncatus, Delphinus delphis y Phocoena phocoena, son capaces de distinguir varios químicos del agua marina (Dehnhardt, 2002). La audición es el sentido más importante en los odontocetos, para el reconocimiento de su ambiente, además forma parte del principal mecanismo utilizado, la ecolocación (Jefferson, 2008 (c))*

Por las razones anteriores, la utilización del sonido resulta ser el método más efectivo dentro de un ambiente acuático para poder resolver problemas de navegación, evasión de obstáculos, depredación y la detección de presas (Au, 1993).

Antes de comenzar a describir el proceso de ecolocación, relacionado con la forma de comunicación de ciertas especies, tenemos que definir el concepto de comunicación como un proceso de transmisión de señales que ofrecen información del medio en el que se encuentra el receptor de la señal (Tyack y Miller, 2002).

Los odontocetos son un grupo de mamíferos que viven enteramente en el agua y muestran la especialización más elaborada para la comunicación, utilizando la acústica como instrumento para la identificación de entorno dentro del agua con base en la ecolocación, además de la comunicación entre los individuos de una población (Berta *et al.*, 2006).

Tanto en las especies de mamíferos terrestres (murciélagos) como acuáticos (cetáceos) siempre se ha presentado el problema de orientación y localización de objetos ya sea en la oscuridad o en algún lugar donde la visión sea de alguna manera limitada (Berta *et al.*, 2006). Tanto murciélagos como cetáceos evolucionaron de manera análoga a la especialización en el uso de sonidos para

la comunicación desarrollando un proceso de obtención de la información denominado ecolocación (Laiolo, 2010).

La ecolocación es un término acuñado por Donald Griffin en 1958, para describir la habilidad durante el vuelo de los murciélagos para localizar los obstáculos y cazar las presas, por medio del análisis del rebote de chasquidos que son sonidos de duración corta y de frecuencia alta (Tyack y Miller, 2002).

Por este proceso, organismos, como los odontocetos emiten o proyectan señales acústicas al medio en el que se encuentran, obteniendo una sensación de las cosas que lo rodean (Berta *et al.*, 2006; Au y Lammers, 2007; Branstetter *et al.*, 2012).

La audición de los cetáceos puede ser dividida en pasiva y activa, siendo la pasiva aquella donde el objeto de ecolocación emite por sí sólo sonidos que llegan al delfín en forma de ecos, en cambio la audición activa, es aquella en la que el objeto de análisis es insonificado por los cetáceos, entendiendo, como insonificado, el hecho de enviar señales acústicas sobre algún objeto, por medio de propios chasquidos que al chocar con el objetivo, producen ecos, los cuales son analizados por el cetáceo. La audición pasiva se da principalmente en un rango de frecuencias bajas (1-10 kHz) y la audición activa se encuentra en frecuencias altas (alrededor de 100 kHz). La audición activa es un proceso complejo que incluye la fuente del sonido, la recepción del sonido y el sistema de la interacción entre la fuente y la recepción (Dubrovsky, 2004).

El proceso de la ecolocación puede ser dividido en tres subsistemas: transmisión, recepción y análisis de la información (Fig. 7) (Au y Lammers, 2007).



Figura 7. Proceso de ecolocación en *T. truncatus* (Berta *et al.*, 2006, p. 290).

De manera general, el proceso de ecolocación consiste en la transmisión del sonido producido dentro de la cabeza del organismo y en la propagación de estas señales acústicas dentro del organismo y a través del medio externo de propagación, llegando hasta un objetivo que es insonificado donde se produce un eco que es rebotado hacia la fuente de sonido, el cual viaja dentro de la cabeza del organismo, de aquí llega al sistema nervioso central, donde se analiza e interpreta la información (Au, 1993; Berta *et al.*, 2006; Au y Lammers, 2007).

Origen y transmisión de la señal

La transmisión de la señal, se efectúa por medio de la cabeza, cabe señalar que el campo acústico está intrínsecamente relacionado con el tamaño de la cabeza (Au, 1993; Dubrovsky, 2004).

Durante décadas ha existido una controversia acerca del órgano responsable de la producción de los sonidos emitidos por los odontocetos. Por una parte se creía que podría ser la laringe y por otra parte el sistema de sacos nasales. Sin embargo, el resultado de varias investigaciones concuerda en que la región del sistema de sacos nasales es la estructura responsable de la producción de chasquidos en los odontocetos (Cranford *et al.*, 1996).

Los pulsos de ecolocación o chasquidos, son estímulos transeúntes de corta duración que al insonificar un objetivo y este producir un eco, se produce

información que es sintetizada para formar una imagen acústica tridimensional (Huggenberg *et al.*, 2009) producida por la presurización neumática dentro de los espacios intranarinales. Estos espacios son un órgano importante en todo el proceso de producción y transmisión del sonido y pertenece a un complejo estructural que esta asociado con la parte superior de los pasajes nasales; denominado Monkey Lips/Dorsal Bursa (MLDB), esquematizado en la figura 8 (Cranford *et al.*, 1996; Berta *et al.*, 2006; Huggenberg *et al.*, 2009; Akamatsu, 2009).

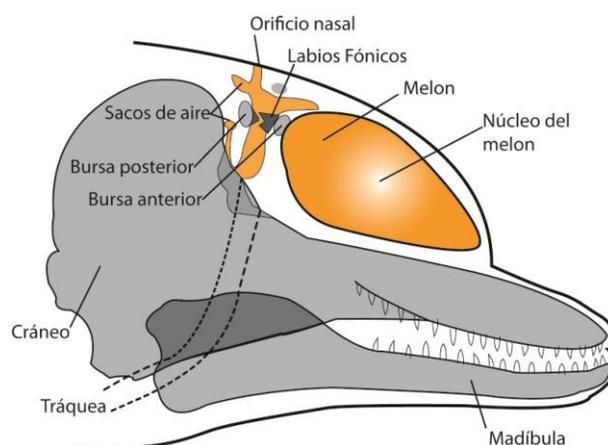


Figura 8. Estructuras asociadas a la producción de sonido en *T. truncatus* (modificado por Ponciano Gómez de Berta *et al.*, 2006, p.276).

La producción del sonido en los odontocetos, se da por medio de la vibración de las estructuras del complejo MLDB. Este sonido después es acoplado con el medio acuático, a diferencia de la producción del sonido en mamíferos terrestres que se da en un medio aéreo, por lo que la masa del MLDB que es la que necesita vibrar es más grande en magnitud que la masa dispuesta para la vibración en la laringe de los mamíferos terrestres, lo que hace que el proceso de la producción del sonido en cetáceos sea diferente (Cranford *et al.*, 2011).

Se cree que los sonidos son generados con el forzamiento del paso de aire entre los labios fónicos, lo que hace vibrar a todo el MLDB (Cranford *et al.*, 1996). La periodicidad entre el abrir y cerrar de los labios fónicos deja pasar o corta el flujo de aire determinando la tasa de repetición del tren de chasquidos, al chocar los labios fónicos también se producen vibraciones en la bursa (Cranford *et al.* 1996; Berta *et al.*, 2006; Cranford *et al.*, 2011).

Estudios de Cranford y colaboradores (1996) basados en la utilización de videos de endoscopia de alta velocidad, confirmaron la hipótesis de que el MLDB es la única estructura responsable de la generación de sonidos de ecolocación en *T. truncatus*, Sin embargo, existen otras estructuras como el espiráculo u otros sitios de las membranas nasales que están involucradas en la producción de sonidos como silbidos, que no están relacionadas con la ecolocación, sino más bien con la comunicación y reconocimiento de los individuos (Cranford *et al.* 1996; Berta *et al.*, 2006).

Existen dos tipos de sonidos de comunicación o sociales los silbidos y los pulsos explosivos, no todos los odontocetos son capaces de emitir estos sonidos, los odontocetos de tamaños más pequeños no tienen la capacidad de generar estos sonidos, por lo que se ven limitados en la amplitud en términos de las señales de ecolocación, lo que se compensa con la emisión de sonidos más largos, para incrementar la energía de salida. Las emisiones de ecolocación entre aquellos organismos capaces de producir sonidos de ecolocación y los que no, tienen cuatro diferencias básicas que se muestran gráficamente en la figura 9 (Au y Lammers, 2007; Au, 2009):

- La señal de emisión es más larga en odontocetos que no emiten silbidos.
- Los sonidos emitidos por odontocetos pequeños como las marsopas son de banda estrecha.

- Las longitudes a las que emiten son de 125-150 μs en *P. phocoena* y 50 a 70 μs en *T. truncatus*.

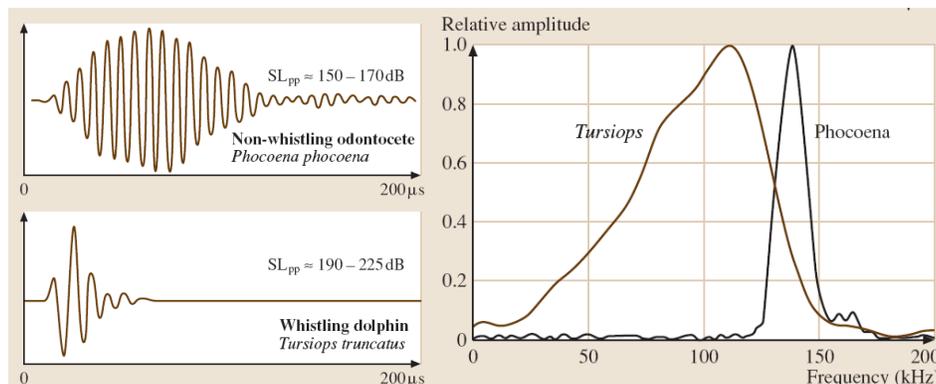


Figura 9. Señales típicas de ecolocación de *Phocoena phocoena* y *Tursiops truncatus* (Au y Lammers, 2007, 817).

Una vez generado el sonido las ondas sonoras son transmitidas hacia el frente del cráneo, donde existe una masa de grasa de baja densidad, denominada melón, que emite y dirige el sonido hacia el medio acuático, encontrando así su objetivo (Au y Lammers, 2007).

Recepción y análisis de la información

Experimentos electrofisiológicos (Bullock *et al.* 1968; McCormick *et al.* 1970) demostraron que la recepción de sonido en cetáceos está dada por medio del meato auditivo y de la mandíbula inferior, siendo sensibles, respectivamente, a frecuencias menores a 20kHz y a frecuencias arriba de 20kHz.

Brill (1988), realizó experimentos de audición con *T. truncatus* en cautiverio, afirmando lo dicho por Bullock *et al.* (1968) y McCormick *et al.* (1970). También encontró que el proceso de ecolocación es disminuido significativamente cuando se atenuó el sonido que llegaba hasta la mandíbula inferior, por lo que concluyó que aún cuando el meato auditivo es capaz de percibir sonidos, la mandíbula inferior es la principal encargada de proporcionar la información del medio al organismo.

El proceso de conducción del sonido comienza cuando la señal llega a la mandíbula . Esta estructura posee dos cúmulos grasos insertados en su porción más posterior denominados charolas de los huesos (por su traducción en inglés pan bones). Estas estructuras muchas veces llegan a ser translúcidas, disponiéndose un cúmulo por cada extremo de la mandíbula (Bertha *et al.* 2006).

Estos cúmulos adiposos se convierten en canales que conducen la señal acústica, ya que se conectan directamente con las paredes de las bulas auditivas del oído medio. El tamaño de las bulas esta directamente relacionado con el tamaño del organismo, estas estructuras se comunican con el complejo timpánico por medio del canal auditivo externo. El complejo timpánico, que contiene al oído medio e interno, se encuentra separado del cráneo y otros órganos por una emulsión moco, aceite y aire, sostenido por una red poco densa de tejido conectivo (Berta *et al.*, 2006; Au, 2009).

La separación de las bulas del cráneo, permite a los organismos, conocer la dirección del origen de los sonidos, dada por la velocidad del sonido en el medio acuático. Si las bulas se encontraran unidas al cráneo, el sonido viajaría a través de ambas lo que no permitiría discernir en la dirección del sonido, ya que se acortaría el tiempo de retraso de la llegada de la señal acústica entre ambas bulas (Au, 1993, 2009; Au y Lammers, 2007; Berta *et al.*, 2006; Popov y Supin, 2001). De aquí la señal viaja hasta la cóclea por medio de la ventana oval. La cóclea es un órgano en forma de tubo espiral dividido longitudinalmente por medio de dos membranas longitudinales en dos cámaras (membrana basilar y lamina espiral) y esta llena de fluidos. Al entrar la onda de sonido por medio de la ventana oval, se causa una vibración en la cóclea, lo que hace que se deformen las células vellosas que se localizan en la membrana basilar (Au, 1993).

Algo importante de resaltar es la variación en el ancho de la membrana basilar, ya que se cree que esta característica es importante para la diferenciación de las frecuencias en la cóclea en sumatoria con la rigidez de la estructura, lo que le

confiere diferentes características de vibración, por lo que se cree que estas condiciones ayudan a la representación de la información en forma de altas frecuencias y conduce con más detalle la señal a los centros de audición del sistema nervioso (Au, 1993; Popov y Supin, 2007).

Popov y Supin en 2001 concluyeron que las altas frecuencias de sonido provocan potenciales de evocación significativamente de amplitud mayor que sonidos de frecuencias bajas, lo que es evidencia que comprueba estudios reportados por estos autores, quienes mencionan que la cóclea tiene diferentes contribuciones para la formación del potencial de evocación, encontrando que la parte basal representa a las frecuencias altas y es más efectiva que la parte apical que representa a frecuencias bajas; estas señales se conducen hacia el cerebro donde es analizada la información.

1.3. Uso de hábitat y recursos compartidos

Los cetáceos han invadido el ambiente marino con gran éxito, por lo que se puede esperar que las especies muestren un desarrollo diferencial de adaptaciones que reflejen las presiones de selectividad en las condiciones del ambiente marino en el que se encuentran; así la relación de una especie con su medio ya sean factores abióticos como bióticos, es una característica importante de su ecología (Ballance, 2009).

El conocer la relación existente entre una especie y su hábitat es de gran utilidad para una mejor comprensión de su manejo y conservación, pudiendo predecir distribución y abundancia (Bowen *et al.*, 2002).

Un aspecto importante en la ecología de las especies es la alimentación; de que se alimentan y cuales son sus estrategias de obtención de recursos. En el caso de los organismos involucrados en este estudio, tienen hábitos alimenticios similares y especialización por edad, sexo y clase reproductiva; esto es el resultado de una

diferencia en la demanda energética (Read, 1995; Ballance, 2009). Los cetáceos pequeños forman agregaciones y se encuentran en aguas relativamente someras (de la superficie a pocos cientos de metros), se alimentan principalmente de calamares crustáceos y pequeños peces, entre ellos la sardina y anchoveta, aunque la dieta no sólo está restringida a estos grupos (Ballance, 2009). El encuentro de las presas también está relacionada con la topografía del lugar, las presas suelen agregarse en las proximidades de islas o montículos (Read, 1995; Bowen *et al.*, 2002; Ballance, 2009).

Se sabe que la organización en manadas de *T. truncatus* y *D. delphis*, en cuestiones de obtención de recursos se debe a la alta organización, además de utilizar la ecolocación de manera constante durante el forrajeo y como medio de comunicación (Read, 1995).

La mayoría de los odontocetos del Alto Golfo de California se encuentran en la punta de las redes tróficas, por lo que se puede suponer que las dietas se superponen (Pauly *et al.*, 1998; Morales Zarate, 2004), como es el caso de la marsopa (*Phocoena phocoena*) y el delfín nariz de botella (*Tursiops truncatus*) en el noreste del Atlántico. Hay una fuerte interacción por competencia entre estas dos especies, ya que se superpone su nicho de alimentación, es decir, depredan en la misma área de distribución, la elección de la presa es similar, en cuanto a especie, tamaño y estas presas son depredadas conjuntamente por grupos de los dos depredadores, además se encontró mayor número de marsopas con heridas o cicatrices por mordedura de delfines que viceversa (Spitza *et al.*, 2006).

Sin embargo, no todos los odontocetos compiten por los recursos, como es el caso de *Lagenorhynchus albirostris* y *Delphinus delphis* en Escocia. Aun cuando se encuentran en la misma distribución geográfica presentan diferencias ya sea en la estrategia de forrajeo o en la dieta, además de que se han encontrado alimentándose a diferentes profundidades dependiendo de la estacionalidad, nunca superponiendo los nichos (Weir *et al.*, 2009).

1.4. Acústica pasiva

Los métodos visuales tradicionales para el estudio de cetáceos presentan limitaciones, como el que no es posible saber con certeza cuantos organismos se encuentran en la manada de observación y la observación de los individuos es de poca duración, sólo cuando se encuentran en la superficie. Además, las observaciones se ven limitadas a las horas de luz y por el estado del clima. Las respuestas visuales pueden ser variables, debido a la aglutinación de la manada y sus relativas escalas espacio temporales, lo que hace que la visualización de la manada nunca sea en el mismo lugar (Mellinger *et al.*, 2007).

La acústica pasiva se ha convertido recientemente en una herramienta no invasiva que proporciona más información que la observación en embarcaciones (Tiemann *et al.*, 2004), mas cuando el esfuerzo visual se ve comprometido por el clima, la turbidez u otros factores (Oswald *et al.*, 2007). Además de que es un instrumento importante en los estudios de conservación de los mamíferos marinos (Redfern *et al.*, 2006; Mellinger *et al.*, 2007; Jaramillo Legorreta, 2008; Todd *et al.*, 2009; Elliot *et al.*, 2011).

La importancia de esta herramienta es que es útil para la clasificación de las especies, estimación de la abundancia, distribución y uso de hábitat. Ha tomado un auge importante, por lo que en 2005 se realizó el primer taller internacional en detección y localización de mamíferos marinos por medio de acústica pasiva (Adam, 2006); en 2009 en la cuarta edición de este mismo taller, se llevó a cabo el primer taller internacional en la estimación de la densidad de mamíferos marinos usando acústica pasiva (Pavan *et al.*, 2010).

Como la utilización de acústica pasiva es una de las herramientas más útiles para el estudio de cetáceos, en esta tesis se utilizan datos acústicos de cetáceos menores en el Golfo de California, México.

1.5. Justificación

Los delfines *T. truncatus* y *D. delphis* y las especies de la familia Phocoenidae, poseen hábitos de alimentación similares, además de las mismas estrategias de captura de presas y obtención de alimento. Un aspecto importante en la dinámica de las tres especies involucradas en este proyecto, *Phocoena sinus*, *Delphinus delphis* y *Tursiops truncatus*, es que las tres especies al ser odontocetos, poseen el sentido de la ecolocación. Este sentido es el más importante para conocer su medio y por ende el más utilizado en la búsqueda y captura de las presas.

Por lo que conocer la existencia de traslapo en la emisión de sonidos de ecolocación de las diferentes especies podría dar una idea de la dinámica acústica que hay entre las poblaciones de estas tres especies en el Alto Golfo de California. Aclarando como dinámica acústica a la presencia o ausencia de fonaciones de ecolocación de las especies y el traslapo de las señales de una u otra especie.

Además de que podría servir como materia prima para la implementación de un esquema de monitorización acústica de la vaquita, ya que toca una de las covariables que pueden influir en el sesgo o precisión de la monitorización, como es el efecto en la tasa de detección de vaquitas debido a la presencia de otras especies como los delfines.

1.6. Hipótesis

La emisión de señales de ecolocación de delfines *Tursiops truncatus* y *Delphinus delphis*, interfieren con las ecolocaciones de *Phocoena sinus*. Es decir, no existe registro simultáneo de emisiones de sonidos de ecolocación de estas tres especies en el Alto Golfo de California. Lo que resultaría en un cambio en la tasa de encuentro acústico, lo que podría ser el resultado de una modificación en la conducta acústica de la especie más vulnerable, *Phocoena sinus*, es decir, que la vaquita deje de emitir sonidos o se aleje del sitio cuando hay presencia de delfines.

1.7. Objetivos

Objetivo General

Determinar la distribución espacio-temporal y la coocurrencia de fonaciones de tres especies de cetáceos menores *Tursiops truncatus*, *Delphinus delphis* y *Phocoena sinus* en el Alto Golfo de California, la posible interacción de *P. sinus* y otros cetáceos menores y su relación con la distribución de acuerdo a la velocidad y magnitud de la marea.

Objetivos Particulares

- Determinar la distribución temporal de cetáceos menores en el Alto Golfo de California por medio de la identificación de fonaciones.
- Determinar si existe coincidencia espacio-temporal de las especies de cetáceos menores.

2. Materiales y métodos

2.1 Área de estudio

El Golfo de California es un cuerpo de agua que separa el continente de la península de Baja California entre los 22-32°N y 105-107° W, tiene 1130 km de largo y entre 80-209 km de ancho. Es una zona única en su localización y geografía, alberga una gran cantidad de grupos de organismos, además de ser la zona pesquera más productiva de México (NOAA, 2008).

El Alto Golfo de California (fig.10), alberga una gran riqueza de especies marinas, tanto de peces como de mamíferos, ya que tiene un régimen de mareas semidiurnas con un amplio rango de mareas de aproximadamente 8 m. La mezcla provocada por la marea trae nutrientes a las aguas superficiales, haciendo de esta región una de las más productivas de todos los océanos (Álvarez Borrego y Lara Lara 1991). Esta alta productividad da como resultado una gran abundancia de especies de importancia pesquera, algunas de las cuales han sufrido la sobrepesca (Barlow *et al.*, 2010; Sánchez Velasco *et al.*, 2012). Esta región fue declarada Reserva de la Biosfera del Alto Golfo y Delta del río Colorado en el año 1993, debido en gran parte a su papel como refugio de varias especies endémicas de peces como *Totoaba macdonaldii*, *Micropogonias megalops* y *Cynoscion othonopterus*, además de *Phocena sinus* la vaquita, una marsopa endémica y amenazada críticamente (Sánchez Velasco *et al.*, 2012). Por esta especie en el año 2005 se formó su zona de refugio, que se encuentra en la parte central del rango de distribución de la especie (Semarnat, 2008).

El Alto Golfo de California es una cuenca somera, semicerrada que se caracteriza por ser una zona con alta evaporación 0.9 – 0.95 m/año (Álvarez Borrego *et al.*, 1975). En la parte más norteña del Golfo de California existe una condición de estuario inverso, caracterizado por aumentos en la salinidad que va de 34.5 ppm

en la parte más abierta del Golfo y en la zona somera la salinidad llega a ser de más de 39 ppm (Álvarez Borrego *et al.*, 1975) con un promedio general de 37 ppm de salinidad superficial, que es el resultado de la alta insolación solar y aislamiento geográfico, pues esta rodeada por desierto y montañas, además de la entrada de diferentes corrientes de aire frías, que vienen del norte, y el viento seco transportado desde el continente. La combinación de estos factores produce la alta evaporación característica de la región (Zamudio *et al.*, 2011). La profundidad media fuera de la costa es de 200 m aproximadamente y la parte más somera de 30 m aproximadamente (Lluch Cota *et al.*, 2007).



Figura 10. Área de estudio: Alto Golfo de California.

Existen corrientes de mareas fuertes, y procesos sedimentarios y de mezcla intensos, lo que provoca estratificación poca o nula, esta re suspensión crea un ambiente de alta turbidez con concentraciones de sedimento en suspensión de hasta 60 a 80 mg L⁻¹ a 1 m sobre el fondo, durante las corrientes de marea intensas (Álvarez, 2010). Las temperaturas promedio en verano son alrededor de 32°C y en invierno de 14°C (Álvarez Borrego *et al.*, 1975).

La combinación de todos estos factores implica, que el Alto Golfo de California, sea un lugar de alta productividad primaria (Morales Zarate, *et al.*, 2004).

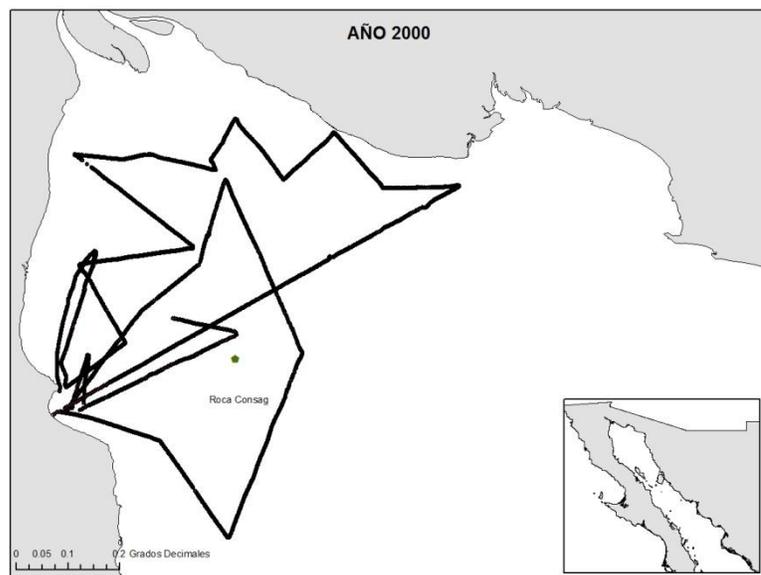
2.2 Registros acústicos

Los archivos de grabación utilizados en esta tesis son datos acústicos obtenidos de cruceros realizados durante los años 1999 a 2007, para el estudio de la distribución, uso de hábitat y tendencias de población de vaquita, fueron reportados en Jaramillo Legorreta (2008).

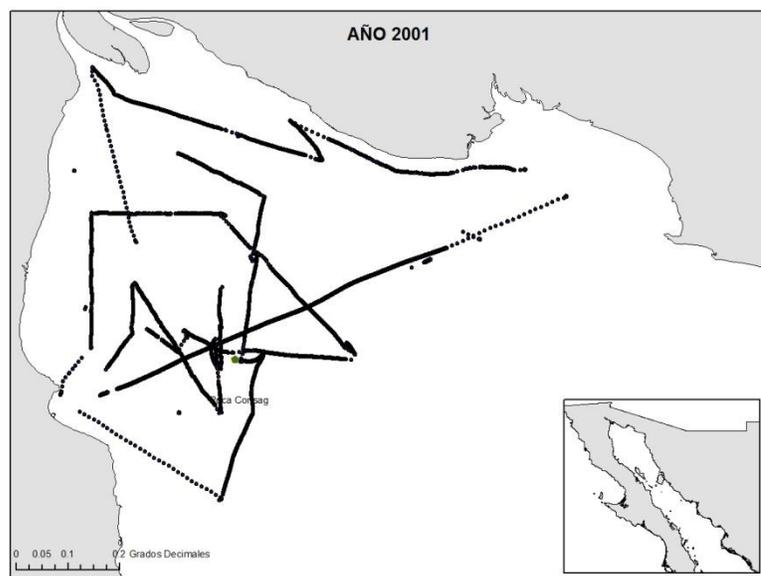
Los datos acústicos fueron obtenidos por medio de un hidrófono Sonar Research & Development HS 150 de la IFAW, El software *Porpoise* ha sido desarrollado con una interfaz de usuario de fácil manejo y visualización que permite un fácil ajuste de varios parámetros de control de la pantalla y de la detección de chasquidos (Gillespie y Chappell, 2002), al mismo tiempo los datos de posición y las condiciones de la navegación fueron registrados en una base de datos en el programa Microsoft Access. Los métodos de grabación y la selección de estos, se encuentran descritos ampliamente en Jaramillo Legorreta (2008).

El diseño de muestreo se fue modificando en el transcurso de los años en los que se llevó al cabo. Es relevante mencionar que el lugar de muestreo fue diferente para cada año, como se muestra en la figura 11.

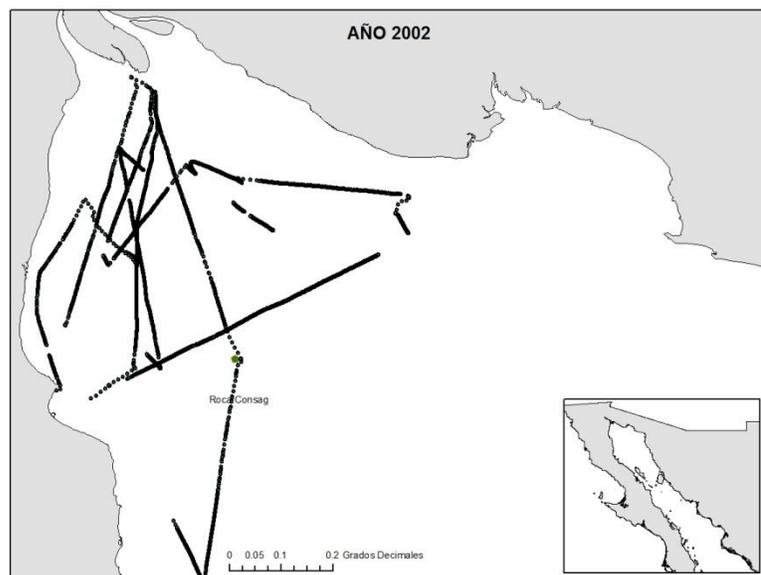
Durante los cruceros de 1997 a 200 el muestreo se realizo con la embarcación en movimiento a lo largo de transectos, sin embargo, el ruido ahuyentaba a las vaquitas, por lo que se decidió cambiar a un diseño basado en estaciones fijas en las que se anclaba el barco por varias horas con las máquinas apagadas (Jaramillo Legorreta, 2008).



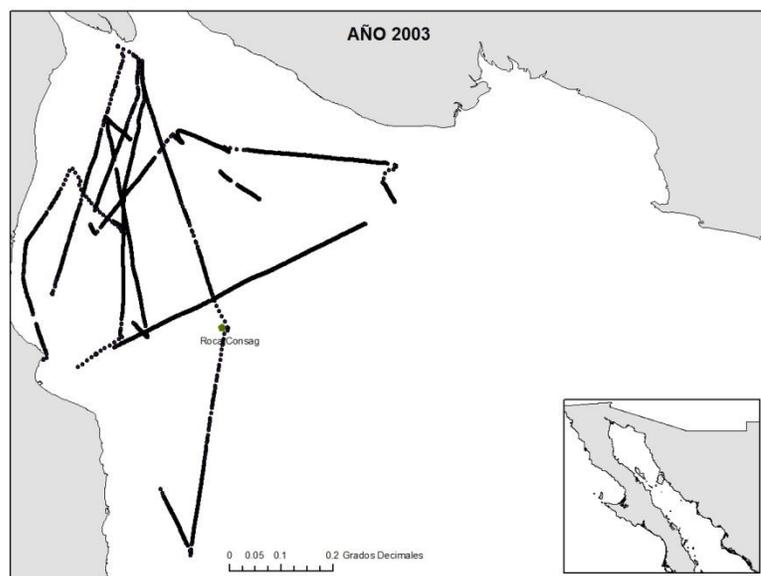
a)



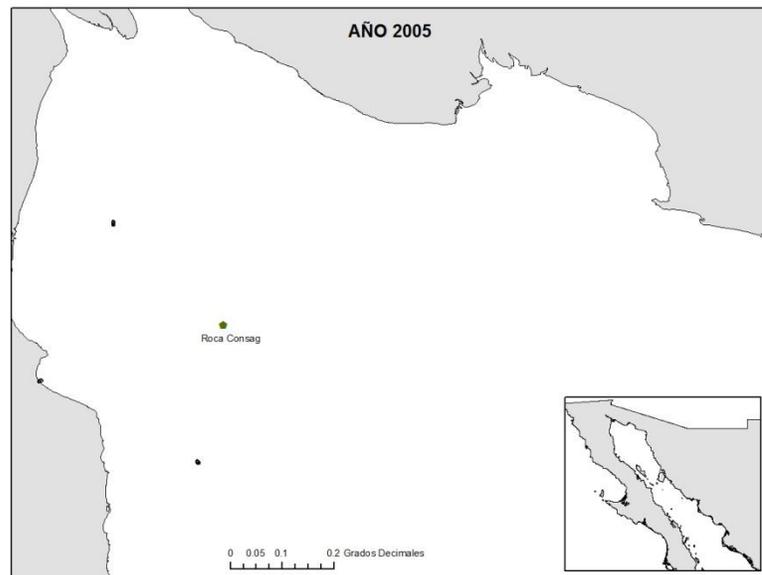
b)



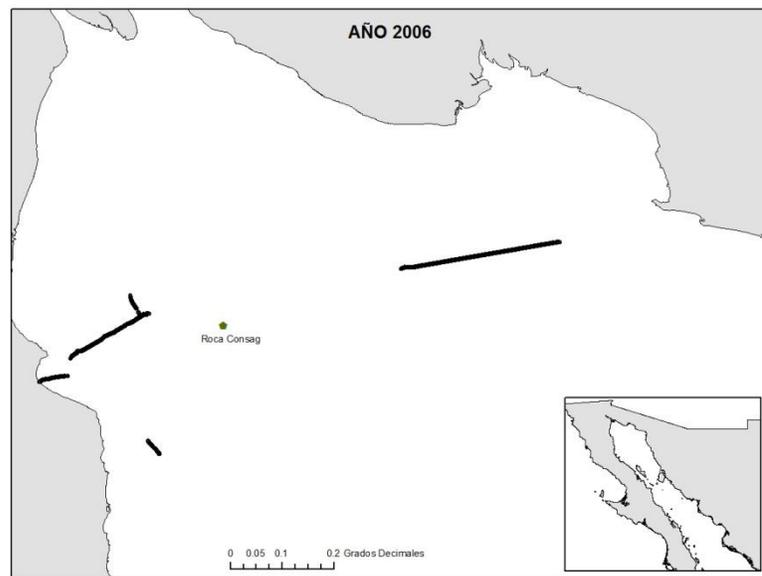
c)



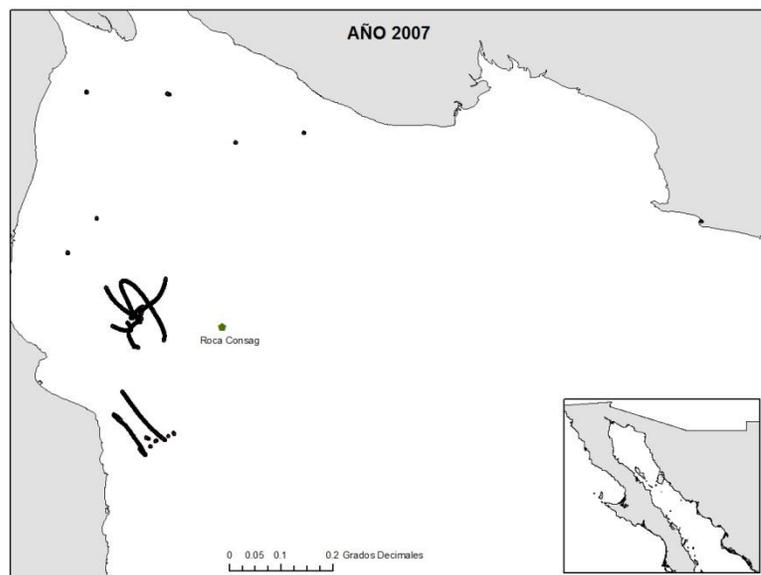
d)



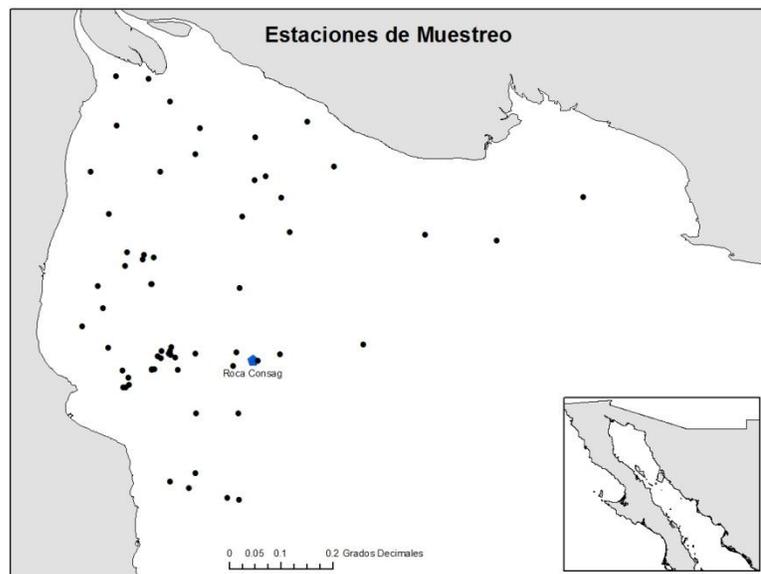
e)



f)



g)



h)

Figura 11. Mapas de las trayectorias de muestreo en el Alto Golfo de California por año a) 2001, b) 2002, c) 2003, d) 2005, f) 2006, g) 2007 y h) estaciones fijas de muestreo de todos los años.

2.3 Bases de datos de registros acústicos

Para el manejo de los datos de este proyecto existe una base de datos por cada crucero realizado. Cada una de estas bases contiene el posicionamiento geográfico, anotaciones de referencia de lo escuchado en tiempo real y condiciones ambientales de la navegación, además de algunos otros aspectos relacionados con los cruceros, no incluidos en esta tesis.

Cada una de las bases de datos fue depurada, tomando de cada una sólo los datos necesarios para este proyecto de tesis. Los datos con estas características fueron compilados en una sola base de datos de Microsoft Access. Con este conjunto de datos se realizaron los análisis de este estudio.

Se poseen archivos acústicos del año 1999 al 2007. Sin embargo para los elementos pertenecientes a 1999 y 2004 no se poseen datos de posicionamiento ni anotaciones de referencias acústicas en tiempo real. Por lo que, aún cuando se identificaron y cuantificaron las fonaciones pertenecientes a delfines (*Tursiops truncatus* y *Delphinus delphis*) no fue posible realizar comparaciones con las fonaciones de *Phocoena sinus* previamente identificadas en la tesis doctoral de Jaramillo Legorreta (2008).

2.4 Identificación de encuentros acústicos de delfines

Se reviso cada uno de los 851 archivos de duración diferente obtenidos de los muestreos realizados entre los años 1999 y 2007.

Los archivos acústicos analizados tienen la extensión *.phd, y son leídos por el programa *Porpoise Detector*, creado especialmente para monitorear las señales generadas por *P. sinus*. Este mismo programa también permite identificar los sonidos de ecolocación emitidos por los delfines encontrado en el Alto Golfo de California.

En este proyecto se identificaron las fonaciones de ecolocación de los delfines *T. truncatus* y *D. delphis*, y se tomaron para la comparación de coincidencias con *Phocoena sinus* de los datos obtenidos de los conteos realizados por Jaramillo Legorreta (2008) en un estudio para la estimación del estatus de la población de la especie.

Porpoise Detector V 1.1

Porpoise Detector es un programa de análisis de señales acústicas, elaborado con el fin de monitorear y estimar la abundancia de la población de la vaquita (*Phocoena sinus*), con el propósito de detectar de manera más eficaz las emisiones (los chasquidos) de *P. sinus*. El programa recibe las señales desde los hidrófonos, automáticamente descompone la señal en tres bandas filtradas, con diferentes frecuencias: La banda roja representa la banda de vaquita que va de 115-145kHz, la banda verde, representa la frecuencia centrada en los 71kHz y la banda azul representa la banda centrada en los 50kHz, la frecuencia a la que se encuentran las señales emitidas por los delfines. (Figura 12).

El programa de análisis consta de una interfaz visual provista de dos paneles: el panel superior denominado “vista tipo marsopa” muestra la acumulación de señales acústicas con una integración de tres segundos representados por las pequeñas barras en el espectro, donde las barras rojas identifican frecuencias altas y de banda estrecha, que pertenecen a los chasquidos emitidos por *P. sinus* y la banda azul muestra aquellas fonaciones de banda amplia, sonido característico de sonidos de ecolocación de delfines, es decir. la emisiones de delfines tienen energía en las tres bandas, a diferencia de las señales de vaquita que contienen la mayor energía sólo en la banda superior arriba de 115 KHz.

En el panel inferior (vista espectro), se muestra la señal marcada por la barra de color negro que se encuentra en la parte inferior de la vista tipo marsopa. En este panel, la señal se encuentra desplegada por puntos. La longitud del lapso mostrado en la ventana, entre los puntos puede ser manipulada, por medio de la

barra lateral derecha, esta escala se muestra en el eje X, mientras que en el eje Y se encuentra la amplitud de la señal.

En los casos en los que se detectó vaquita, las frecuencias son de banda corta, por lo que las demás bandas responden a diferente intensidad Sin embargo, cuando se detectaron las señales de delfín, por ser señales de banda amplia las tres bandas responden a la misma intensidad.

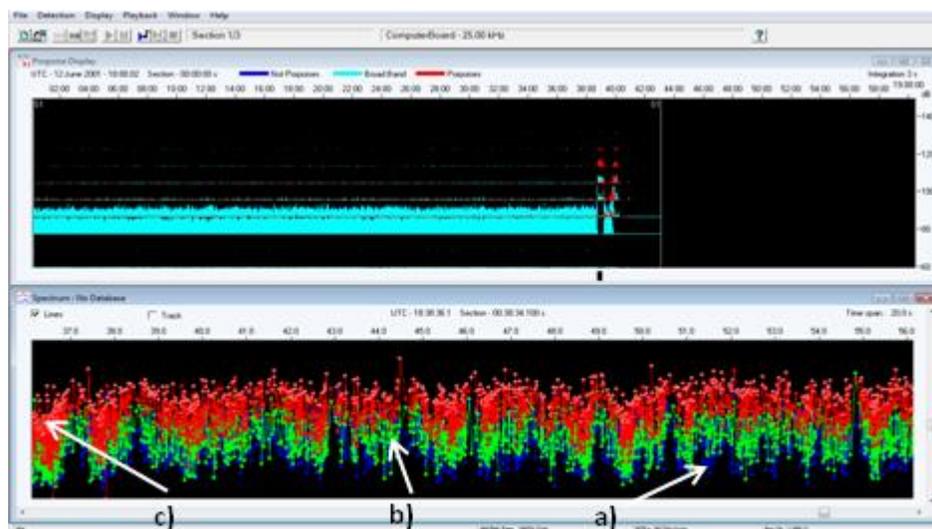


Figura 12. Programa Porpoise Detector: Señales acústicas filtradas: a) La banda azul es la frecuencia centrada en los 50kHz (señales acústicas de delfín), b) banda verde esta centrada en los 71 kHz y c) La banda roja se encuentra entre los 115 y 145 kHz (señal acústica tipo vaquita).

Detecciones de *Tursiops truncatus* y *Delphinus delphis*

Las detecciones acústicas de delfines fueron realizadas por medio visual y auditivo.

Como se mencionó anteriormente, el programa Porpoise Detector, fue diseñado para identificar aquellos chasquidos de alta frecuencia pertenecientes a marsopa, los delfines como *D. delphis* y *T. truncatus* emiten sonidos de menor frecuencia, por lo que en este programa, sólo se puede identificar la emisión de los sonidos de

mayor frecuencia de estas especies, los que corresponden a señales de ecolocación.

Al no tener completo el espectro de frecuencias de estas especies, no es posible distinguir entre una y otra especie, por lo que se decidió clasificar las fonaciones sólo identificando como delfines genéricamente, sabiendo que *Tursiops truncatus* y *Delphinus delphis* son las especies de odontocetos más representativas del Alto Golfo de California junto con *Phocoena sinus*. Se infiere que aquellas señales características de delfines, pertenecen a estas dos especies. Para poder identificar las señales a nivel de especie es necesario un sistema que registre con mayor resolución la forma de onda y el contenido espectral de frecuencias podría diferenciar entre ambas especies de delfines, capacidad que no tiene el porpoise detector.

La existencia de señales de delfines, se determinó bajo los siguientes criterios: Alta energía repentina de las en las tres bandas filtradas, tanto en las de referencia a 50 y 71 KHz, como en la banda en la que emite vaquita arriba de 115 KHz, donde se registraran oscilaciones repetidas, esto en la pantalla de vista "tipo espectro", además de un sonido característico de chasquidos determinado auditivamente (Figura 13).

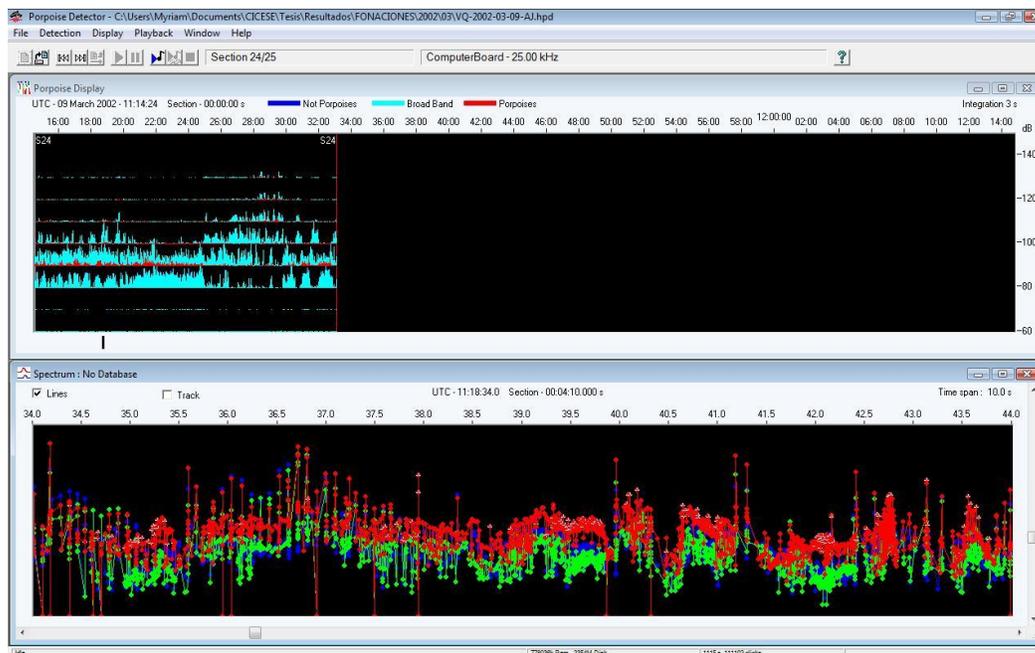


Figura 13. Visualización característica de una señal de delfín, donde se muestra un aumento de energía en el panel superior (vista tipo vaquita), y oscilaciones de banda ancha en la ventana inferior (vista tipo espectro).

El proceso de identificación de las señales se realizó en condiciones donde la vista tipo vaquita tenía integraciones de la señal de tres segundos, la cual se muestra en la parte superior derecha de esta vista, otro aspecto importante fue que todas las revisiones se realizaron en una escala temporal de 20 segundos, mostrado en la parte superior derecha de la pantalla tipo espectro (Fig. 13).

Para considerar una señal de forma individual dentro de un espectro, se considera que existan por lo menos 5 segundos de separación entre oscilación y oscilación de la señal acústica.

Es necesario aclarar que no necesariamente una señal de delfín es un organismo individual, además de que la ausencia de fonaciones de ecolocación, no indica que no haya organismos en la zona de grabación, sino simplemente que no se encuentran emitiendo sonidos en el momento del registro de la señal.

Detecciones *Phocoena sinus*

Las detecciones de *P. sinus* fueron obtenidas de la tesis doctoral de Jaramillo Legorreta (2008), quién realizó un amplio estudio sobre el estatus de la población de la especie.

Los chasquidos de vaquita contienen alta energía en la banda superior y muy poca en las dos bandas de referencia, por eso es que la señal roja muestra valores más altos que las otras dos. La amplitud de la señal depende por un lado de la potencia a la que se emita la señal, lo que depende de cada individuo (la vaquita), así como la distancia del hidrófono a la fuente del sonido (posición del animal). Al final la confirmación de que una señal fue emitida por una vaquita es que el tiempo entre chasquidos (inter click interval ICI) es regular comparado con otras fuentes de ruido y en general las señales son emitidas formando las características combas o parábolas (Figura 14).

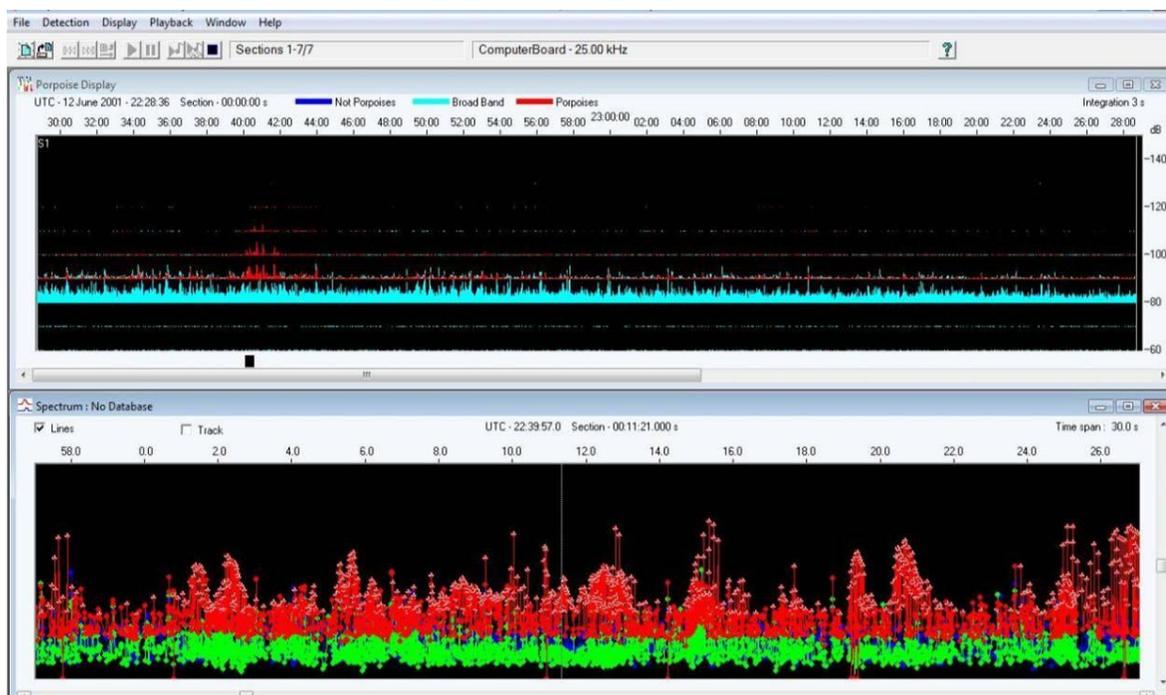


Figura 14. Visualización característica de una señal acústica tipo vaquita.

2.5 Tasa de encuentros acústicos

El cálculo de la tasa de encuentro se realizó de dos maneras diferentes, una de ellas fue para conocer la tasa de encuentro de fonaciones de delfín totales, mediante el cálculo de los minutos totales de detección durante todos los cruceros realizados; el siguiente cálculo de tasa de muestreo fue realizado de acuerdo a lo reportado de Jaramillo Legorreta (2008), para poder relacionar los encuentros acústicos de delfines y la posible coincidencia espacio temporal de *Phocoena sinus*.

Tasa de encuentro de delfines D. delphis y T. truncatus.

Mediante el programa MATLAB 7.12 (Mathworks Inc.), se analizó el tiempo de duración de cada uno de los 851 archivos de todos los años de muestreo.

Posteriormente se identificaron los minutos de encuentros acústicos de delfines.

Se realizó la estimación de la tasa de muestreo para los minutos totales del encuentro por medio de la siguiente formula:

$$TE = \frac{\text{min. de detección}}{\text{min. totales de grabación}} \quad (2)$$

Para análisis de la coincidencia de delfines con *P. sinus*.

Para el análisis de los encuentros acústicos de delfines que se encontraban dentro de las estaciones creadas a partir del 2001, el esfuerzo de muestreo fue tomado de acuerdo al registrado en cada estación por Jaramillo Legorreta (2008) mediante la diferencia del número de organismos encontrados y el esfuerzo efectivo en horas de muestreo en cada estación.

En esta ocasión, no se tomó en cuenta el tiempo de duración de los encuentros acústicos, sino el número de señales encontradas individualmente.

$$Tasa\ de\ Encuentro = \frac{Num.\ de\ detecciones}{esfuerzo\ efectivo} \quad (3)$$

Este cálculo se realizó sólo en aquellos encuentros acústicos de delfines que se encontraban dentro de la posición geográfica de las estaciones de monitoreo de *P. sinus*.

2.6 Coincidencias acústicas espacio-temporales entre delfines y *Phocoena sinus*.

El análisis de las coincidencias acústicas de delfines y *P. sinus* se llevó al cabo en escala temporal y espacial, por lo que los datos obtenidos de las coincidencias fueron tratados de dos maneras diferentes, para poder correlacionar si existe o no traslapeo espacio-temporal de las especies de estudio.

Coincidencia espacial entre cetáceos menores

Las coincidencias espaciales fueron determinadas, por medio de la realización de un mapa de la distribución de delfines y *P. sinus*, tomando en cuenta sólo aquellos datos acústicos encontrados en las estaciones fijas, es decir, cuando la embarcación esta aislada, ya que como se mencionó anteriormente, no sólo se analizaron aquellos archivos que coincidían con las estaciones de muestreo, sino también todos los obtenidos durante trayectos en movimiento. Se obtuvo la tabla descriptiva para los datos de aparición de *P. sinus*, antes y después de los encuentros acústicos de delfines, por medio del programa GraphPad prism V 5.0.

Se registró también el tiempo de inicio y final de cada uno de los encuentros acústicos de delfines, para realizar una comparación con los encuentros acústicos

de vaquita. Así se identificó si existían diferencias temporales entre las coincidencias de delfines y *P. sinus*.

Se tomaron las fechas de inicio de las señales acústicas de delfín y se compararon las distancias temporales de encuentros de *P. sinus* antes y después de la señal de delfín. Para este análisis también se tomó en cuenta la tasa de encuentro acústico de los delfines y de *P. sinus* para que no existiera un error en la coincidencia de las especies, ya que proporcionalmente los encuentros acústicos de *P. sinus* son menores que los encuentros acústicos de delfines.

Al tener las distancias temporales, se realizó una tabla de presencia ausencia con un intervalo de dos horas.

Posteriormente se realizó una correlación para buscar una relación directa en la presencia de fonaciones de *P. sinus* con respecto a la aparición de delfines, por medio de una regresión lineal simple.

2.7 Componentes de la marea

Mediante el programa de predicción de mareas de CICESE, MARV1.0 se obtuvieron las alturas de marea de todos los días de muestreo más tres días anteriores con una periodicidad de cinco minutos. Con estos datos se analizó la dinámica de la marea en el Alto Golfo de California, durante las fechas de realización de los muestreos para el monitoreo de *P. sinus*. Todos los datos de altura de la marea, tienen como medición base el Nivel Medio del Mar (NMM).

Para poder tener mayor confiabilidad en los registros de marea obtenidos, de acuerdo a los puntos de muestreo, se seccionó en tres partes arbitrarias el área de estudio, tomando en cuenta las zonas que podrían tener mayor relación en las lecturas del nivel de marea con las estaciones de medición, disponibles en

MARV1.0: Golfo de Santa Clara, Sonora (SC), Puerto Peñasco, Sonora (PP) y San Felipe, Baja California (SF), como se muestra en la figura 15.

Se obtuvo para todas las fechas de muestreo las alturas de marea que se mostraban en las tres estaciones seleccionadas. Posteriormente se separaron de acuerdo a la estación de que podría tener mas influencia, según la posición geográfica de las estaciones de muestreo.

Los datos de altura de la marea para cada una de las estaciones de muestreo fueron utilizados para obtener dos componentes de la marea, velocidad y magnitud.



Figura 15. Estaciones de medición de mareas, delimitación de acuerdo a cada estación de medición de MIV1.0 CICESE.

Componente vertical de la velocidad de marea

Al obtener la altura de marea de todas las fechas, se suavizaron los datos mediante una estandarización. Esta estandarización se da por medio de la resta de cada altura dada con la inmediata superior para cada fecha, recordando que no sólo se toma en cuenta la fecha de muestreo sino, también tres días anteriores a la fecha, para obtener una mejor idea del comportamiento de las mareas.

El siguiente paso fue obtener la velocidad de la marea, por medio de un promedio móvil de cada diez niveles de marea. En este estudio el promedio de cada 10 elementos corresponde a 50 min de lecturas de alturas de marea. El promedio móvil consiste en realizar el promedio de los primeros diez elementos de la lista, el siguiente promedio se realiza con nueve de esos elementos dejando el primero de ellos y aumentando uno más, así sucesivamente hasta el realizar el promedio de los últimos diez elementos de la lista.

Magnitud de la marea

El cálculo de la magnitud diaria de la marea, por medio de la diferencia entre la pleamar superior y la bajamar inferior. La magnitud obtenida es diaria, ya que como se mencionó en el apartado del área de estudio, la dinámica de la marea en el Alto Golfo de California es con un régimen de marea semidiurno, por lo tanto se producen dos bajamar y dos pleamar. Sin embargo, la magnitud toma en cuenta los valores más altos y bajos registrados para todo el día.

Para representar la magnitud de la marea, se realizó un gráfico de cada mes de muestreo de acuerdo a la estación de medición de nivel de marea que influencia a la estación de muestreo. A su vez se muestran estas mismas gráficas representadas en una sola respecto al año y estación de nivel de marea, para una mejor comparación interanual entre las magnitudes de la marea.

3. Resultados

3.1 Identificación de señales acústicas de *P. sinus*, y delfines (*D. delphis* y *T. truncatus*).

La totalidad de los encuentros acústicos de las tres especies detectadas en este estudio se muestran en la figura 16.

A lo largo de los apartados de resultados y discusión, se entenderá “encuentro” como encuentro acústico, ya que sólo se sabe que el organismo se encuentra ahí por medio de las señales acústicas que este emite, no existen encuentros visuales de *P. sinus* como tampoco los hay de *T. truncatus* y *D. delphis*. Por lo que, con las herramientas utilizadas en este trabajo que sólo han filtrado aquellas frecuencias mayores a los 50 kHz, no se puede afirmar con certeza el número de organismos, es decir, sólo se conoce la presencia de estos si emiten señales de ecolocaciones. Para la estimación real de la abundancia de organismos se analizan sonidos producidos con mayor frecuencia, como silbidos o pulsos, utilizados para la socialización, que se caracterizan por ser de bajas frecuencias, las herramientas utilizadas aquí.

La detección acústica también se da cuando la emisión de la señal se hace en una dirección aproximada hacia el hidrófono y a una distancia no mayor de 500 m, tomando en cuenta que la señal se atenúa entre más alejado este el organismo del hidrófono. Además de que las señales deben de ser lo suficientemente fuertes para no ser opacadas por el ruido ambiental acuático (Jaramillo Legorreta, 2008).

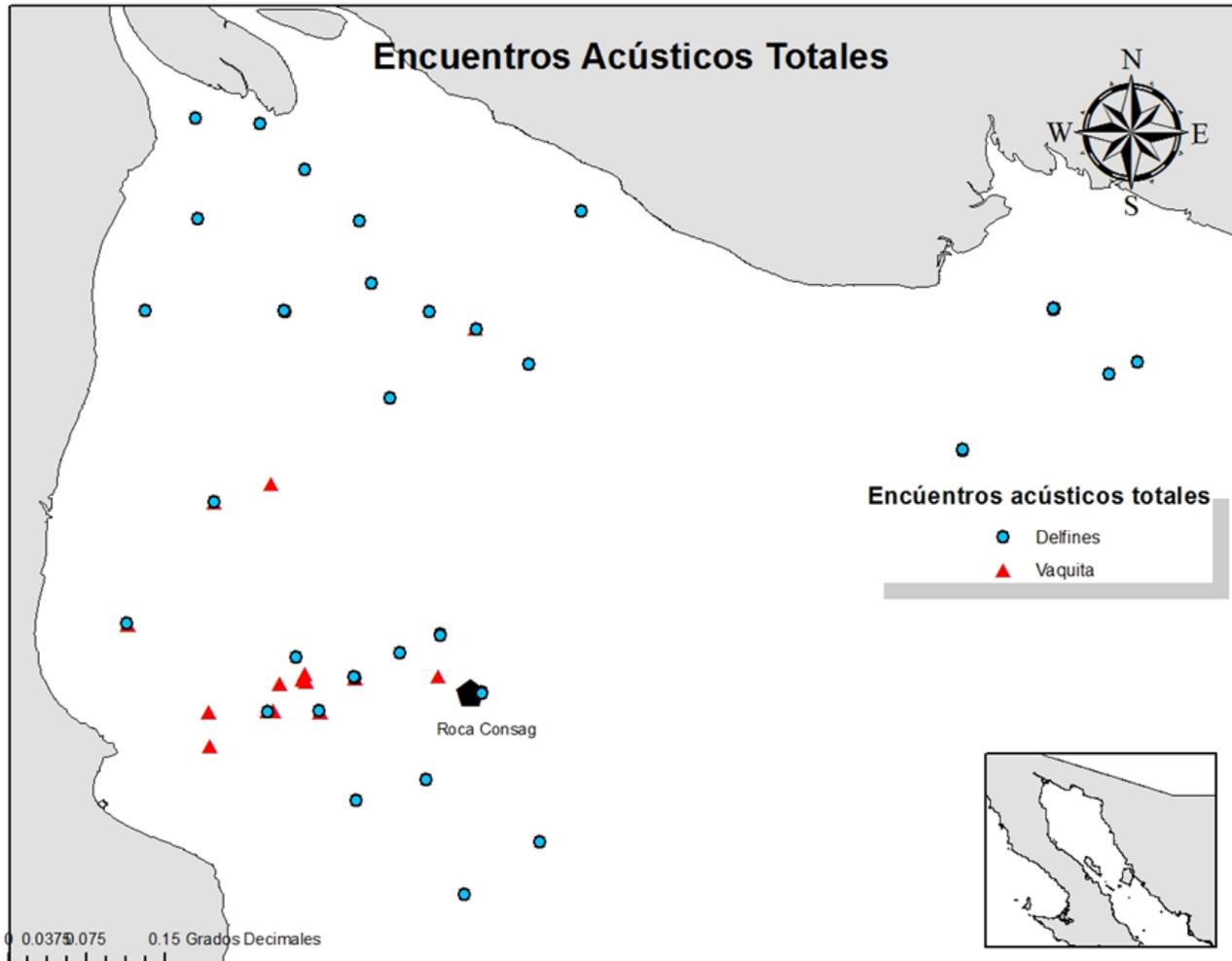


Figura 16. Encuentros acústicos de delfines (*Tursiops truncatus* y *Delphinus delphis*) y *Phocoena sinus*, en todos los años de muestreo.

En la figura 16 y la tabla 1 se muestran los 68 encuentros acústicos de vaquita (*Phocoena sinus*) reportados por Jaramillo-Legorreta (2008) además de los 264 encuentros acústicos de delfines (*Tursiops truncatus* y *Delphinus delphinis*) correspondientes al presente trabajo. En el apéndice I se encuentran las señales acústicas de delfines identificadas más representativas de todos los años de muestreo, según los criterios mencionados en el apartado de materiales y métodos.

El sitio del encuentro se presenta como la posición de la embarcación en la estación, la cual fue considerada como la posición al inicio de la estación, sin tomar en cuenta el desplazamiento por marea. Dado que no se midió la distancia de los animales al hidrófono, ni su dirección, entonces la posición de todos los encuentros acústicos en la estación es la misma.

Como se muestra en la figura 16, la mayoría de los encuentros acústicos de *P sinus* se encuentra distribuido cerca de las costas de San Felipe B. C., y un poco más al norte de esta localidad. Dentro de los muestreos se encontró un evento extraordinario donde se detectó una fonación el día 27 de mayo del 2002 en la zona más norteña del Alto Golfo de California (Jaramillo Legorreta, 2008). A su vez los encuentros acústicos de delfines, se muestran distribuidos en prácticamente todo el Alto Golfo de California, excluyendo un pequeño segmento en el centro del área de estudio. Es necesario mencionar que este fenómeno se da por que los cruceros realizados durante los años de muestreo no pasaron por esa zona, lo que se puede observar en la figura 11, donde se muestran las trayectorias de todos los cruceros realizados.

Aun cuando se identificaron todos los archivos generados en todos los cruceros desde de 1999 a 2007, los análisis de este proyecto de tesis sólo incluyeron 176 señales acústicas que se encontraban dentro de las estaciones fijas que se realizaron a partir del crucero de junio de 2001, ya que en los cruceros de trayectorias no se registraron fonaciones de vaquita

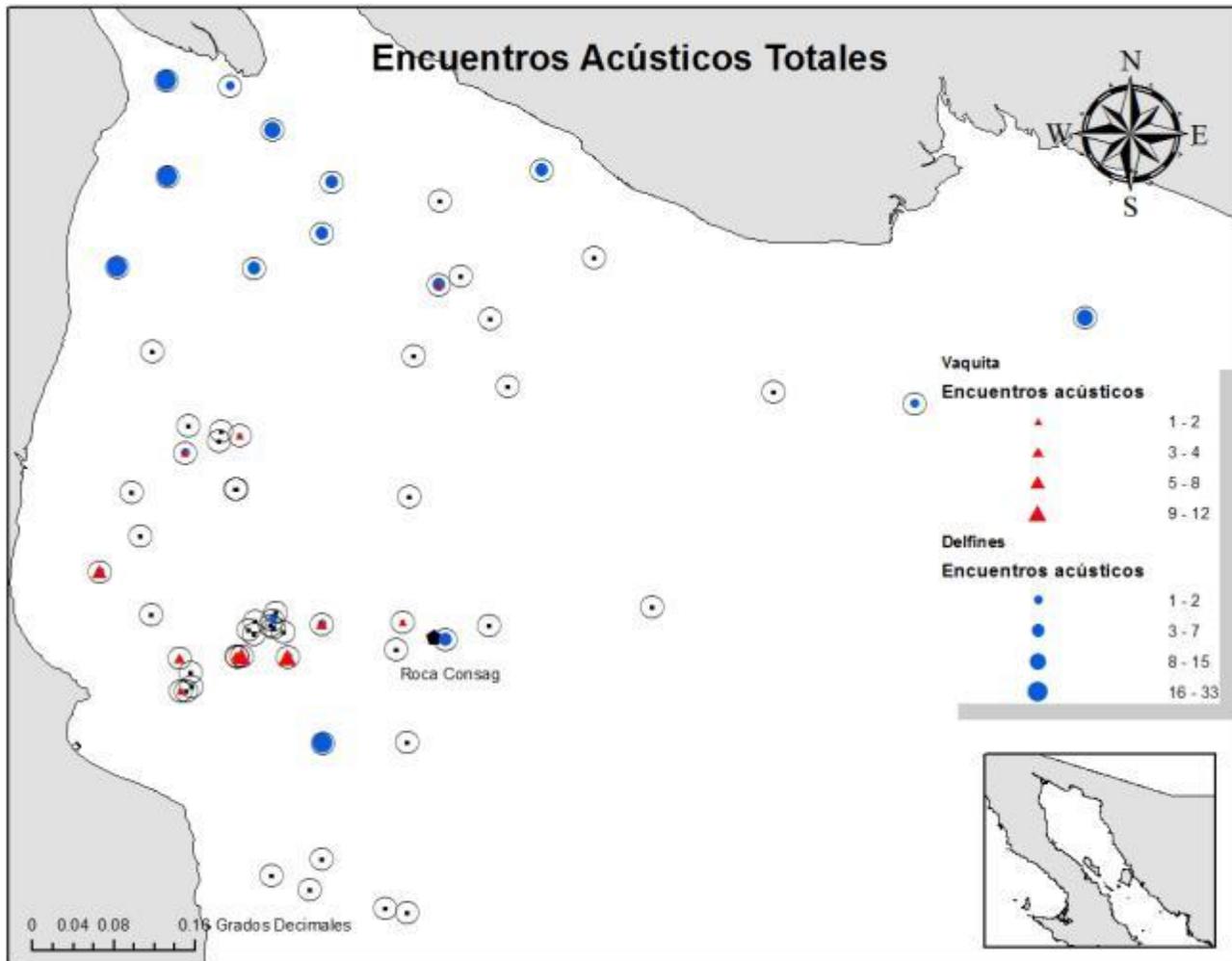


Figura 17. Encuentros acústicos de *Phocoena sinus* (Jaramillo Legorreta, 2008) y delfines (*Tursiops truncatus* y *Delphinus delphis*) por número acumulado de identificaciones acústicas

En la figura 17 se puede observar que la mayoría de los encuentros acústicos de delfines durante las estaciones de muestreos se encuentran en la parte más norte del Alto Golfo de California, a diferencia de las vaquitas que tienen su mayor área de distribución frente a las costas de San Felipe, B.C. El listado total de los encuentros se encuentra en los apéndices II y III.

3.2 Tasa de encuentro acústico

Se realizaron dos cálculos de tasas de encuentro, una para conocer la duración total de encuentros acústicos de delfines en minutos y el cálculo por estaciones de muestreo fijas para poder relacionar con los encuentros acústicos registrados de *Phocoena sinus*.

Tasa de encuentro acústico total de delfines (Tursiops truncatus y Delphinus delphis)

Se analizaron 934:44:15 h., de las cuales, se obtuvieron 13:39:03 h. de registros de fonaciones pertenecientes a las especies *T. truncatus* y *D. delphis*.

La tasa de encuentros acústicos total incluyendo todos los encuentros acústicos, incluyendo aquellos que no se encontraban en la localización geográfica de las estaciones de grabación acústica es expresada como la proporción de minutos con detecciones de delfines respecto del total de minutos grabados.

(4)

$$Te = \frac{\text{min. de detección}}{\text{min. totales de grabación}} = \frac{819.05}{56084.15} = 0.0147$$

Tabla 1. Tasa de encuentro acústico mensual de delfines, durante estaciones de muestreo y trayectorias

Año	Mes	Duración	Fonaciones	T. encuentro %
2000	Octubre	50:56:55	0:01:59	0.0649
2001	Junio	101:47:34	0:39:29	0.6465
2001	Septiembre	76:14:42	1:22:32	1.8041
2001	Diciembre	109:53:43	7:33:51	6.8831
2002	Febrero	0:12:35	00:00:00	0.0000
2002	Marzo	117:13:52	00:41:33	0.5907
2002	Mayo	157:25:40	02:25:45	1.5430
2003	Marzo	29:17:04	00:00:00	0.0000
2003	abril	49:03:37	00:01:03	0.0357
2003	Octubre	1:17:04	00:00:00	0.0000
2004	Abril	8:54:26	00:01:03	0.1965
2005	Julio	37:04:38	00:00:00	0.0000
2006	Mayo	41:14:02	00:05:17	0.2136
2007	Febrero	18:23:28	00:00:00	0.0000
2007	Marzo	65:10:37	00:00:00	0.0000
2007	Abril	70:34:18	00:56:53	1.3434
Total		934:44:15	13:49:25	1.4789

Tabla 2. Tasa de encuentro de Delfines en estaciones fijas para el monitoreo de *Phocoena sinus* durante todos los años de muestreo, por crucero y por estación.

Crucero	Estación	Latitud	Longitud	Esfuerzo	Delfines			
					Fecha	Hora	Encuentro	Tasa
2001-06	6	31.11539	-114.5828	6.09	08/06/2001	04:00:00	2	0.328
2001-06	10	31.50125	-114.5826	3.21	11/06/2001	02:00:07	3	0.934
2001-09	1	31.33317	-113.9997	19.85	09/09/2001	19:50:41	1	0.050
2001-09	3	31.46702	-114.7843	21.35	11/09/2001	20:00:14	29	1.358
2001-12	1	31.41813	-113.8323	31.43	11/12/2001	08:00:04	15	0.477
2001-12	2	31.56342	-114.3666	18.51	13/12/2001	20:14:51	4	0.216
2001-12	3	31.6518	-114.7354	14.26	14/12/2001	22:00:02	25	1.753
2001-12	5	30.99848	-114.5813	16.11	18/12/2001	01:16:56	33	2.048
2002-03	3	31.60283	-114.631	17.6	08/03/2002	04:00:05	11	0.625
2002-03	4	31.10067	-114.4613	17.82	10/03/2002	22:00:11	7	0.391
2002-05	2	31.46667	-114.6497	18.53	25/05/2002	13:39:48	4	0.216
2002-05	3	31.08317	-114.6167	19.25	26/05/2002	18:00:06	1	0.060
2002-05	5	31.45033	-114.4675	22.08	28/05/2002	19:30:06	3	0.136
2002-05	6	31.28433	-114.7178	20.84	29/05/2002	05:12:24	1	0.048
2002-05	7	31.64633	-114.6735	19.61	30/05/2002	06:00:03	1	0.051
2002-05	8	31.16717	-114.8008	12.4	31/03/2002	08:00:09	1	0.081
2006-05	2	31.11942	-114.6311	25.26	06/05/2006	14:05:28	1	0.039
2007-04	5	31.55625	-114.7343	11.96	26/04/2007	18:00:15	30	2.508
2007-04	6	31.55103	-114.5735	11.83	26/04/2007	20:00:08	4	0.338

Tasa de detección por encuentro de *Phocoena sinus*

En la tabla 2 se muestran las estaciones de los diferentes cruceros realizados en la zona del Alto Golfo de California (fig. 17), esta tabla muestra sólo las estaciones en las que se encontraron señales acústicas de delfines, en negritas se muestran aquellas estaciones en donde Jaramillo Legorreta (2008) encontró señales acústicas de *P. sinus*.

Encontrando que las estaciones con mayor número de encuentros acústicos de delfín son las estaciones 3 del mes de septiembre y la estación 5 del mes de diciembre, ambas del año 2001 (fig. 18).

En las figuras 18 a 21 se muestra la distribución de los encuentros acústicos de delfines por año, además del número de encuentros en cada estación, de acuerdo a lo mencionado en la tabla 2.

El año de menor encuentro acústico fue el 2006 (fig. 20), donde sólo se identificó una señal.

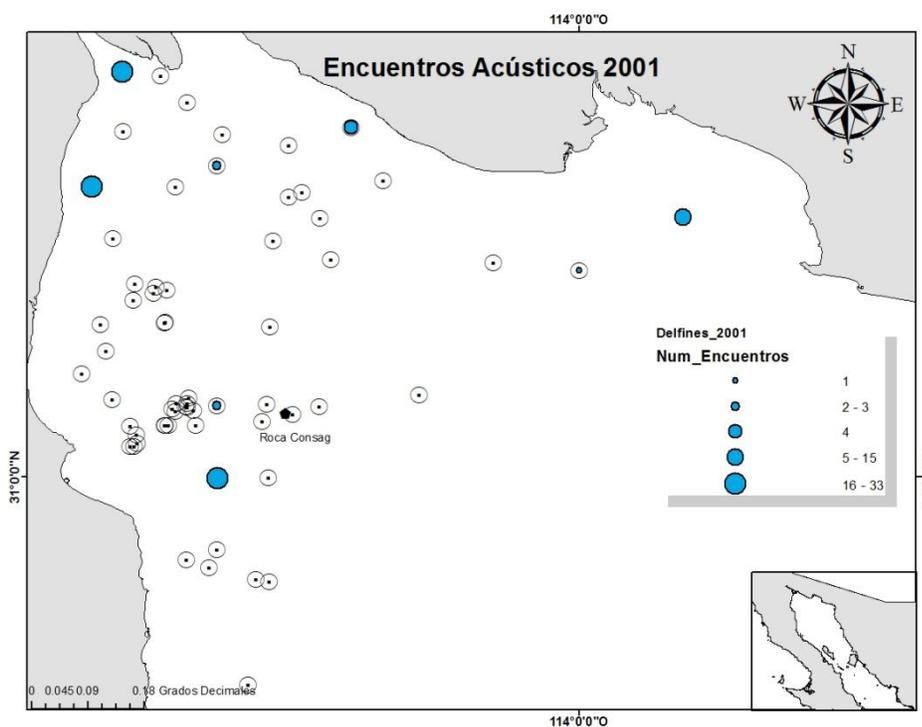


Figura 18. Encuentros acústicos de delfines en las estaciones de muestreo de 2001.

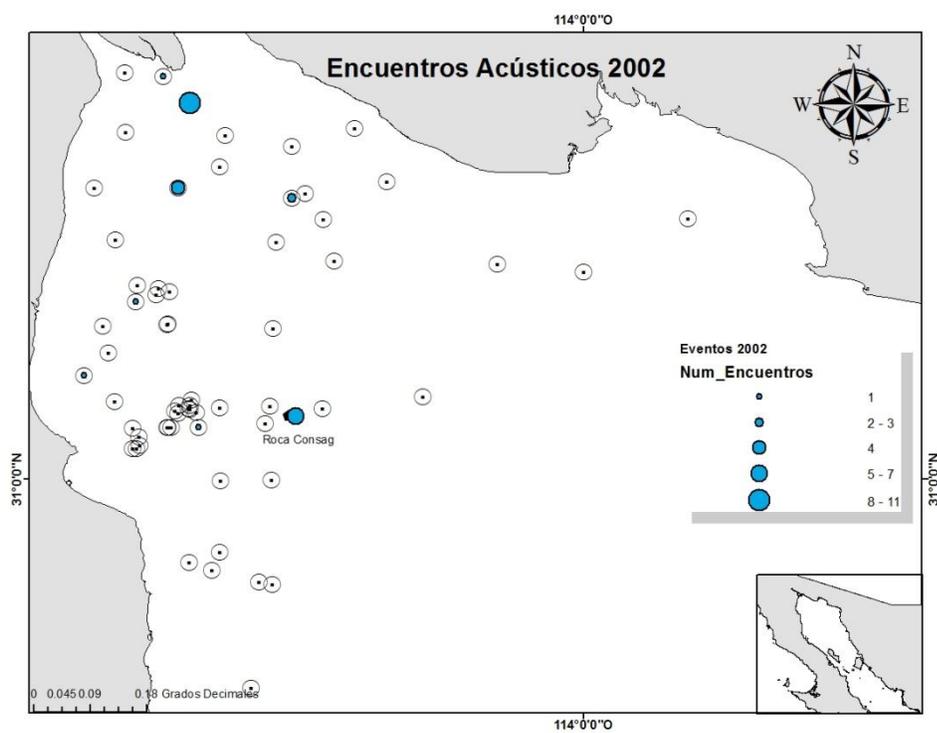


Figura 19 Encuentros acústicos de delfines en las estaciones de muestreo de 2002

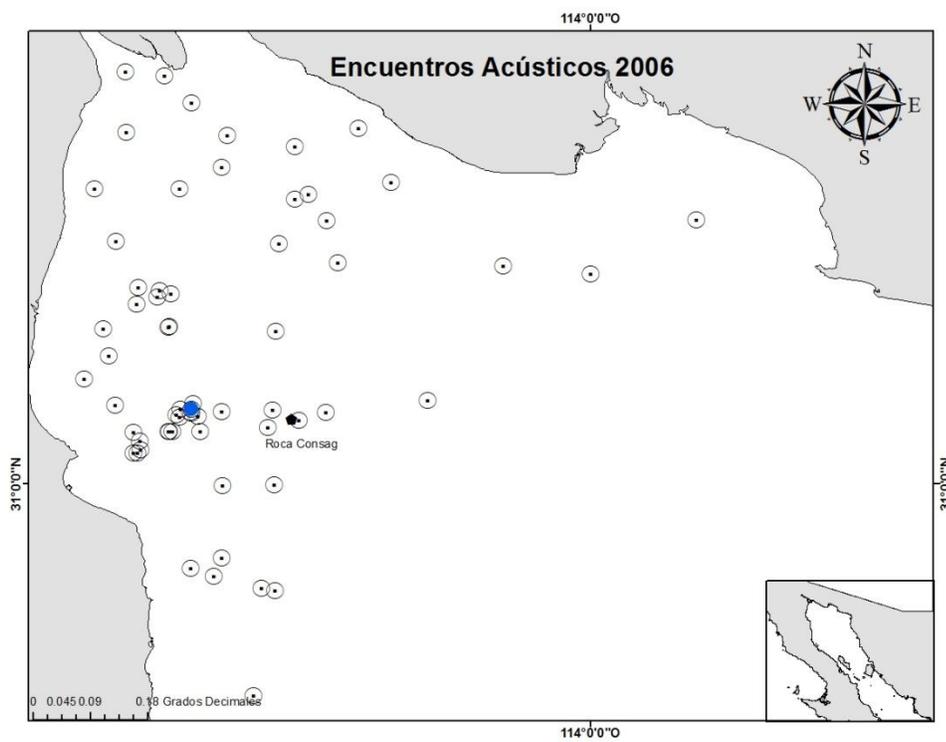


Figura 20. Encuentros acústicos de delfines en las estaciones de muestreo de 2006.

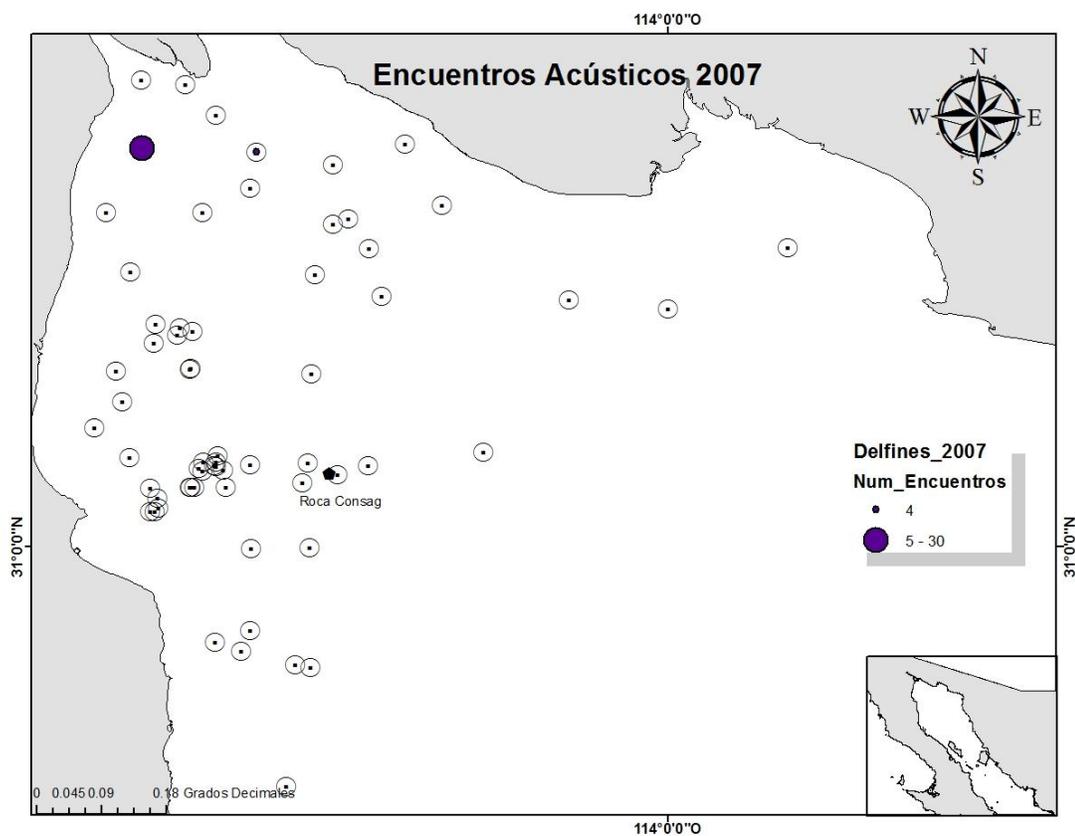


Figura 21. Encuentros acústicos de delfines en las estaciones de muestreo de 2007.

3.3 Coincidencias acústicas espacio-temporal

Coincidencia espacial

De las 19 estaciones en las que se detectaron delfines, en cinco también ocurrieron encuentros acústicos de vaquita (Apéndice I).

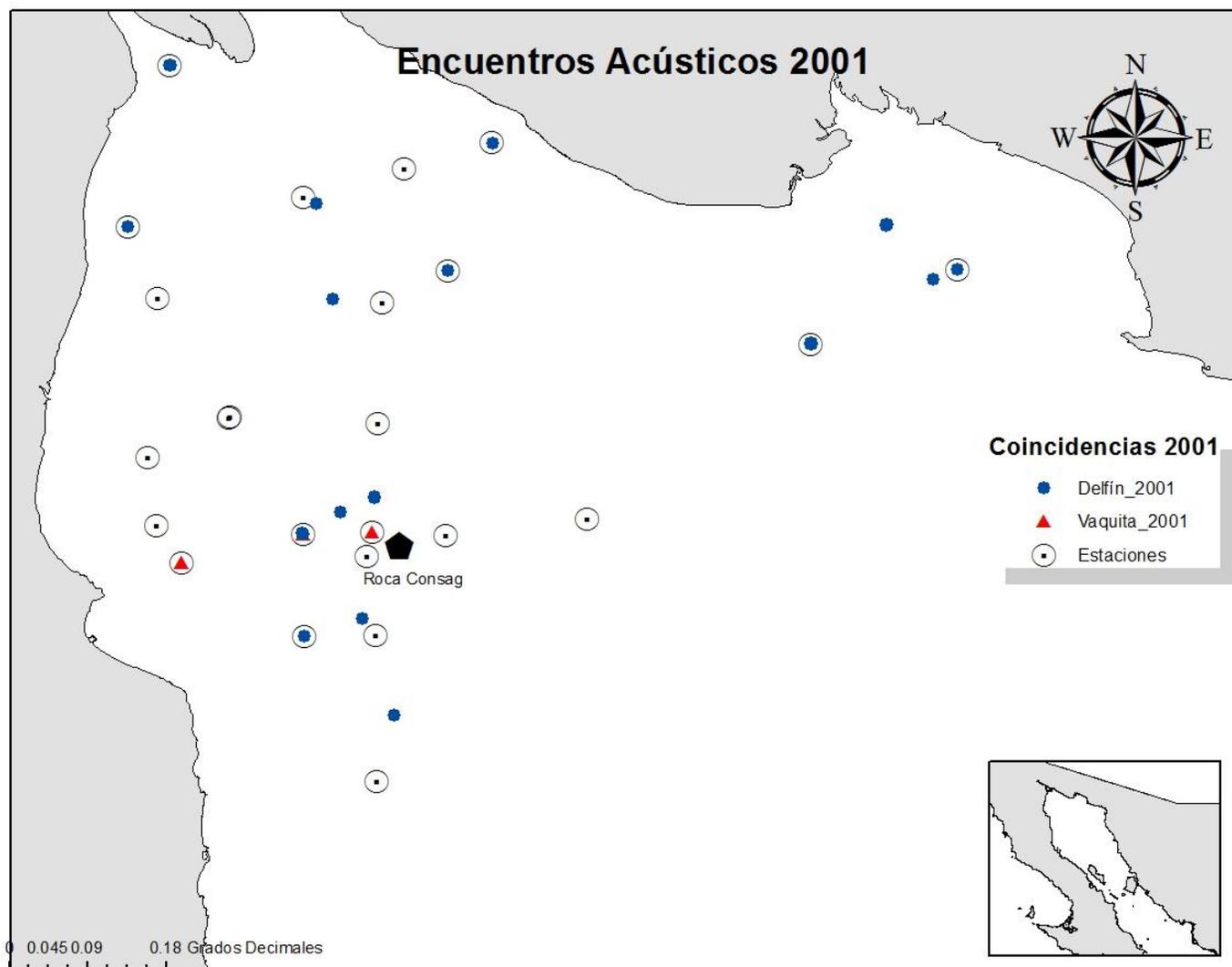


Figura 22. Distribución espacial de los encuentros acústicos de *Phocoena sinus* y *Tursiops truncatus* en el 2001.

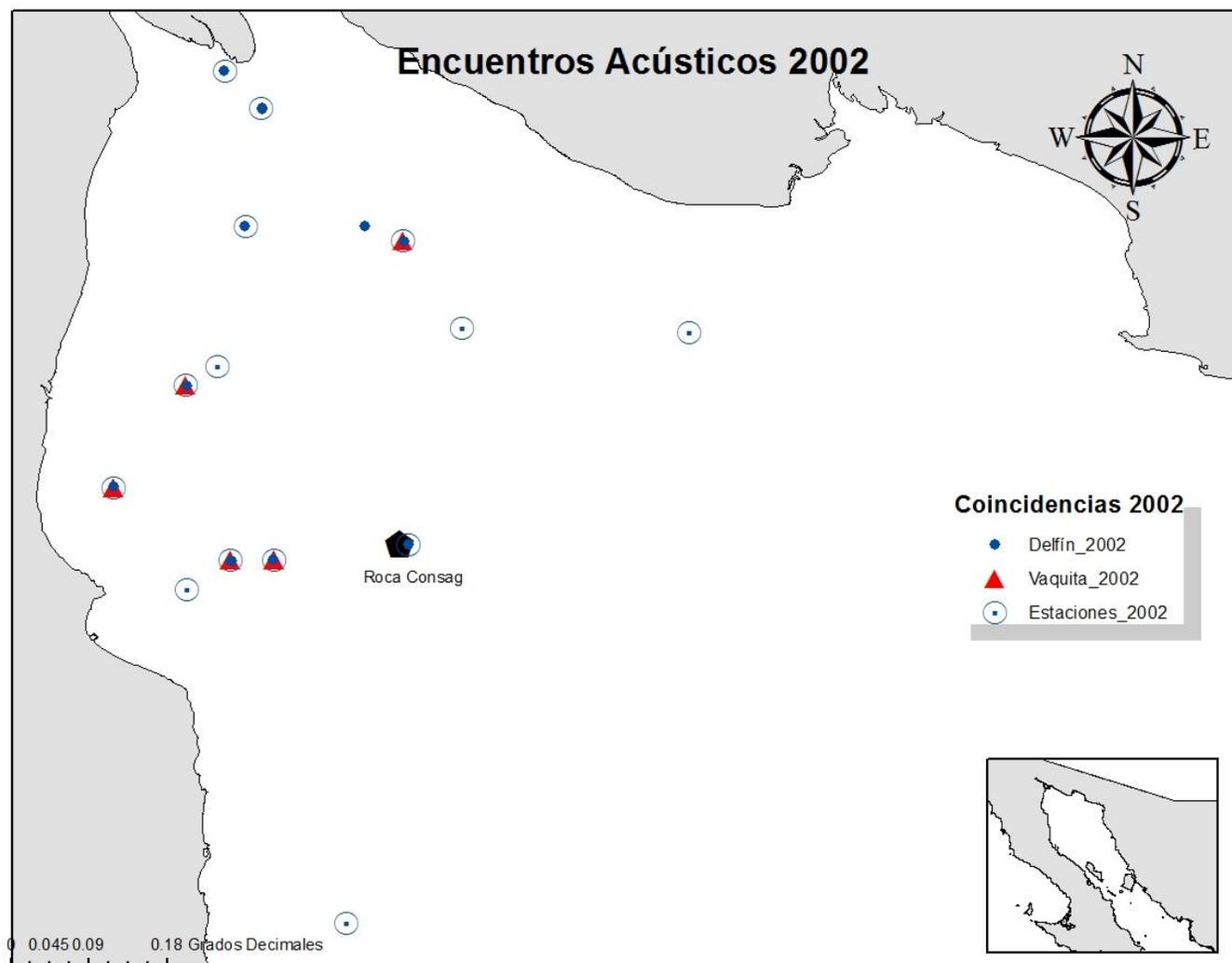


Figura 23. Distribución espacial de los encuentros acústicos de *Phocoena sinus* y delfines (*Tursiops truncatus* y *Delphinus delphis*) en el 2002.

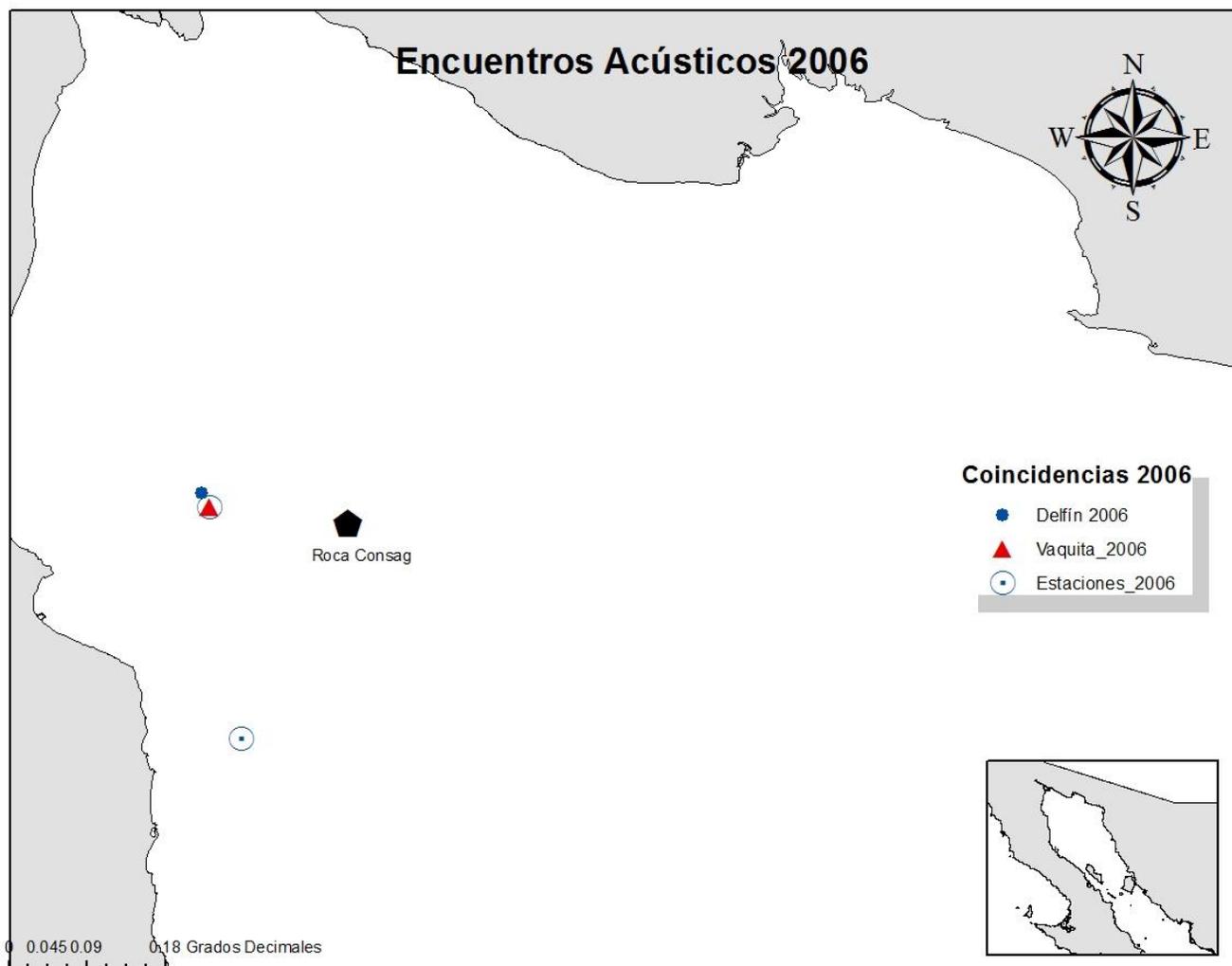


Figura 24 Distribución espacial de los encuentros acústicos de *Phocoena sinus* y delfines (*Tursiops truncatus* y *Delphinus delphis*) en el 2006.

En las cinco estaciones de muestreo en las que existen coincidencias geográficas, se encontraron sólo ocho encuentros acústicos de delfines y 27 de vaquita. Sin embargo aunque es menor el número de señales acústicas de delfines con respecto a las de *P. sinus*, las señales de delfines tienen lapsos de tiempo de mayor duración a las identificadas de *P. sinus*.

Por consecuencia de la zona de mayor distribución de *P. sinus*, la mayoría de las coincidencias espaciales, se encuentran cerca de las costas de San Felipe B.C.

Coincidencias temporales

Como se mencionó anteriormente, aún cuando existe ocurrencia espacial entre las especies, según los resultados obtenidos, sólo existe un traslapo temporal durante el 29 de mayo de 2002, con una duración de 11 segundos, que se muestra en la tabla de encuentros acústicos con ocurrencia después de las de los delfines (Tabla 4).

Las ocurrencias de *P. sinus* antes de los encuentros de los delfines (tabla 3) tienen una media de 6:40:56 horas de diferencia y la ocurrencia después de los delfines (tabla 4) tiene una media de 02:16: 09 horas.

Tabla 3. Coincidencias espaciales de *P. sinus* previos al encuentro de delfines, hora de encuentros acústico.

<i>P. sinus</i> Antes			Lapso de separación	Encuentros acústicos de Delfines		
Fecha	Hora de Inicio	Hora Final		Hora de Inicio	Hora Final	Fecha
08/06/2001	09:21:00	09:22:00	07:21:44	16:43:44	16:45:12	08/06/2001
08/06/2001	16:06:00	16:10:00	00:33:44	16:43:44	16:45:12	08/06/2001
08/06/2001	16:18:00	16:22:00	00:21:44	16:43:44	16:45:12	08/06/2001
26/05/2002	00:21:00	00:21:00	13:43:41	14:04:41	14:04:48	26/05/2002
26/05/2002	01:25:00	01:25:00	12:39:41	14:04:41	14:04:48	26/05/2002
26/05/2002	04:19:00	04:24:00	09:40:41	14:04:41	14:04:48	26/05/2002
26/05/2002	04:54:00	05:01:00	09:03:41	14:04:41	14:04:48	26/05/2002
26/05/2002	05:13:00	05:15:00	08:49:41	14:04:41	14:04:48	26/05/2002
26/05/2002	06:24:00	06:32:00	07:32:41	14:04:41	14:04:48	26/05/2002
26/05/2002	07:14:00	07:21:00	06:43:41	14:04:41	14:04:48	26/05/2002
26/05/2002	10:56:00	11:09:00	02:55:41	14:04:41	14:04:48	26/05/2002
26/05/2002	11:33:00	11:37:00	02:27:41	14:04:41	14:04:48	26/05/2002
06/05/2006	00:07:00	00:11:00	04:57:51	05:08:51	05:08:58	06/05/2006

Tabla 4. Coincidencias espaciales de *P. sinus* posteriores a los delfines, hora de encuentro acústico

Delfines			Lapso de separación	<i>P. sinus</i> Después		
Fecha	Hora de inicio	Hora final		Hora de inicio	Hora final	Fecha
08/06/2001	16:43:44	16:45:12	02:55:48	19:41:00	19:41:00	08/06/2001
08/06/2001	16:43:44	16:45:12	03:13:48	19:59:00	20:09:00	08/06/2001
08/06/2001	16:43:44	16:45:12	05:53:48	22:39:00	22:45:00	12/06/2001
26/05/2002	14:04:41	14:04:48	01:26:12	15:31:00	15:38:00	26/05/2002
26/05/2002	14:04:41	14:04:48	02:10:12	16:15:00	16:19:00	26/05/2002
29/05/2002	1:24:35	1:24:48	00:00:00	01:21:00	01:32:00	29/05/2002
29/05/2002	1:24:35	1:24:48	00:13:12	01:38:00	01:38:00	29/05/2002

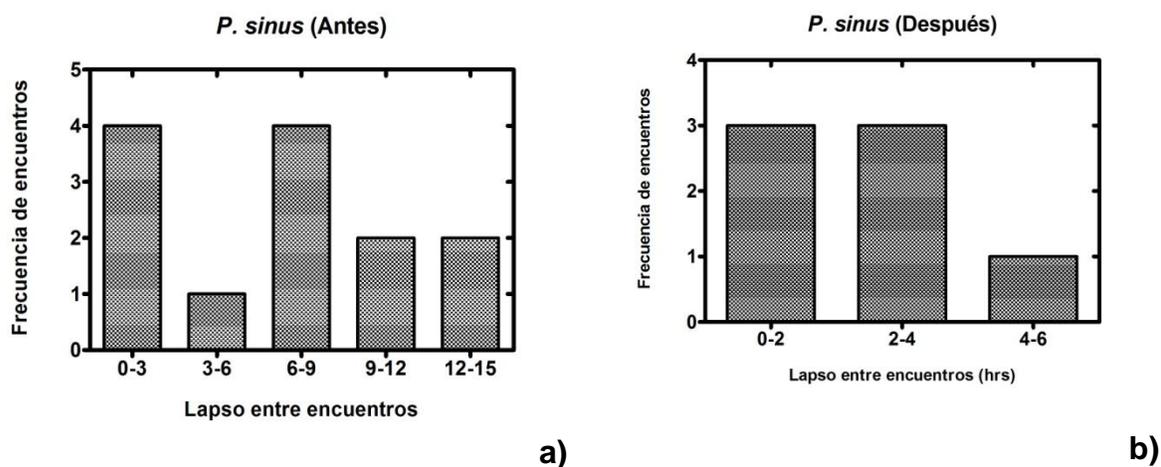


Figura 25. Encuentros acústicos de *Phocoena sinus* antes y después de los encuentros de delfines.

La figura 25 muestra la abundancia de señales acústicas cada cierto intervalo de tiempo. El pequeño número de coincidencias espaciales con un intervalo de horas no permiten un análisis estadístico robusto para inferir si existen tendencias en intervalos de tiempo en las emisiones de *P. sinus*, con respecto a las fonaciones de delfines.

Además de el número reducido de datos en las tasas de encuentros y que en la mayoría de las estaciones de muestreo no se registraron encuentros acústicos de delfines y mucho menos de *P. sinus*, los datos obtenidos tengan una gran cantidad de ceros lo que limita el análisis estadístico. Sin embargo se obtuvieron las estadísticas descriptivas para los encuentros acústicos antes y después, donde se encontró, normalidad para la distribución de los encuentros acústicos de *P. sinus* antes de los encuentros de delfines, por medio de la prueba de Kolmogoróv-Smirnov, con una media de 2.6 error estándar de 0.6 y una $p > 0.1$ con un $\alpha = 0.05$. En el caso de los encuentros acústicos de *P. sinus* después de los encuentros de delfines, no se pudo determinar normalidad en su distribución por el bajo número de datos encontrados, con una media de 2.3 y un error estándar de 0.6, resultados similares para lo encontrado con los encuentros antes. Lo cual

llevar a sugerir que la aparición o emisión de fonaciones antes y después de los encuentros de delfines, siguen una tendencia similar.

Lo que podría llevar a sugerir que los encuentros de delfines influye en los encuentros acústicos de *P. sinus*.

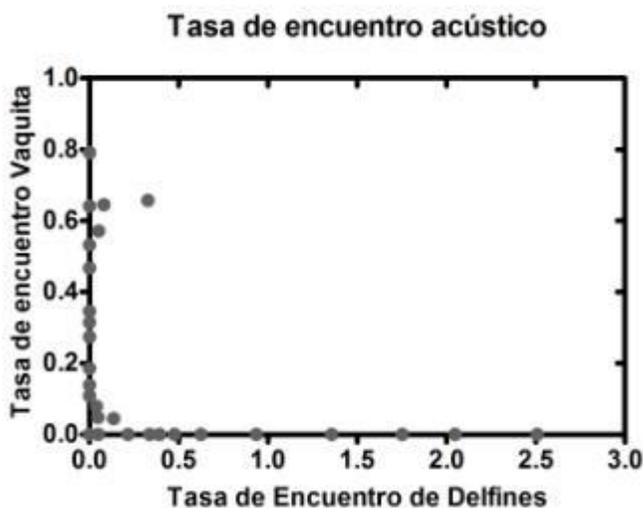


Figura 26. Tasa de encuentro de *P. sinus* con respecto a la tasa de encuentro de los delfines.

Se puede observar una tendencia de disminución de *P. sinus* respecto al aumento en las fonaciones de *D. delphis* y *T. truncatus*.

Como se puede observar, la tasa de encuentro de *P. sinus* es más alta cuando hay bajas tasas de encuentro de delfines, sin embargo, la estadística la estadística, no es capaz de arrojar una relación entre las dos variables.

Sin embargo la distribución de los datos de vaquita presenta una clara tendencia a un ajuste exponencial como se muestra en la Figura 27, con una $p= 0.007$.

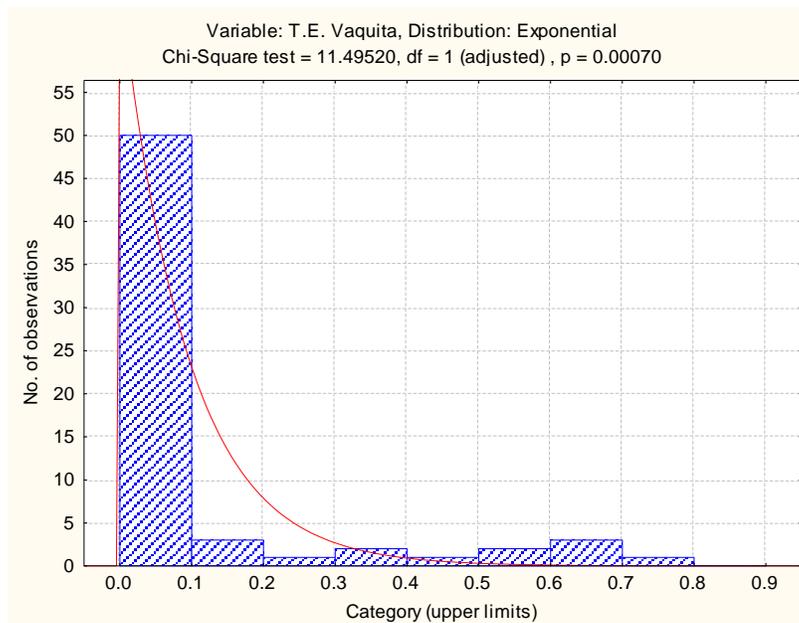


Figura 27. Encuentros acústicos de vaquita ajustados a una distribución exponencial.

Es necesario aclarar, que con esta grafica (Figura 27) no se comprueba que la tendencia sea dada por los encuentros acústicos de delfines. Pero se observa que hay una tendencia a la disminución, la cual puede estar influenciada por una o muchas variables.

3.4 Componente vertical de la marea

Velocidad de marea

Se obtuvieron 57 gráficas de la velocidad de la marea, una por cada día de muestreo, tomando en cuenta en que cual de las tres áreas de influencia de las estaciones de medición del software MARV1.0 se encontraba el punto de muestreo (Apéndice C).

Se graficaron los encuentros acústicos tanto de delfines como de *P. sinus*, de acuerdo al nivel de marea registrado para la hora donde se identificó la fonación.

Se registraron 118 encuentros de delfines en 19 días (apéndice A), no se encontró que los delfines siguieran algún patrón de la marea para emitir fonaciones (apéndice 5).

En cambio, en los 70 registros acústicos de 19 días pertenecientes a *Phocoena sinus* se encontró que siguen las señales acústicas que eran emitidas en momentos justo después del paso de la bajamar o de la pleamar, cuando comenzaba a incrementarse la velocidad y en el caso de la bajamar la altura empezaba a incrementar. En cambio, en las ocasiones donde se encontraba cerca de la pleamar, era justo cuando la velocidad se incrementaba y empezaba a bajar la altura de la marea.

Ninguno de las detecciones acústicas se encontraron en la zona del Nivel Medio del Mar, el 100% de los encuentros acústicos registrados, en la primera mitad de la sección comprendida entre el NMM y la pleamar o bajar, según sea el caso.

Magnitud de marea

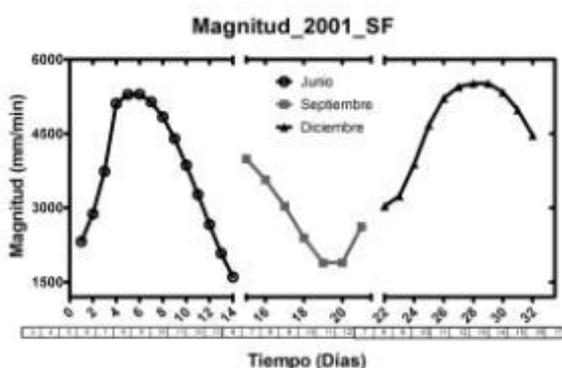
Se obtuvieron diez gráficas de la magnitud de la marea de los días de muestreo. En las gráficas se muestra el día de la medición realizada, además de tres días antes para poder tener en cuenta la dinámica en la magnitud de la marea.

Donde se muestran más de tres días dentro de un mes (sección), el siguiente día al primero de muestreo, también fue un día de esfuerzo acústico, por lo que se acumularon todos los días del muestreo, siempre y cuando fueran continuos los días y se encontraran dentro de la misma zona de influencia de las estaciones de medición de marea.

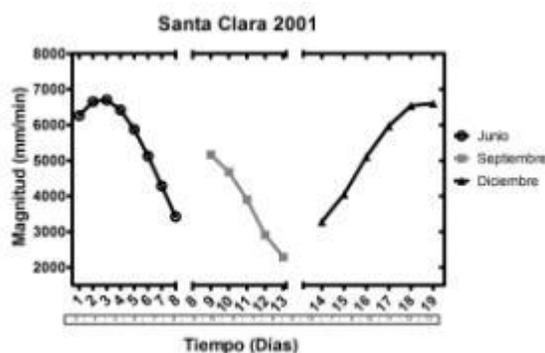
Los resultados de la correlación entre la magnitud de la marea y los encuentros acústicos de vaquita y delfines, arrojan que no existe una relación directa en la tasa de encuentros acústicos de vaquita y ni tampoco de delfines. Sin embargo, se

encontró un ligero patrón, mostrando los encuentros acústicos de *P. sinus* en los días con una magnitud de marea menor. Sin embargo esto no pudo ser comprobable mediante la estadística por el momento. Aunque podría servir como factor a considerar en los trabajos de monitoreo de la especie, donde se busca, el mayor numero de encuentros posibles, lo que podría ayudar a una mejor estimación de la abundancia de esta especie.

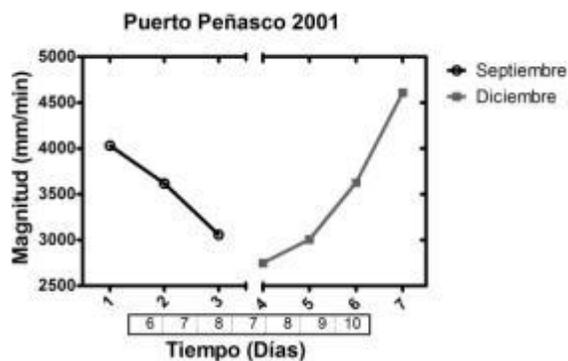
a)



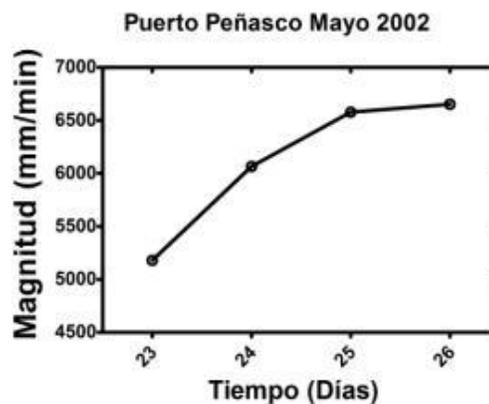
b)



c)



d)



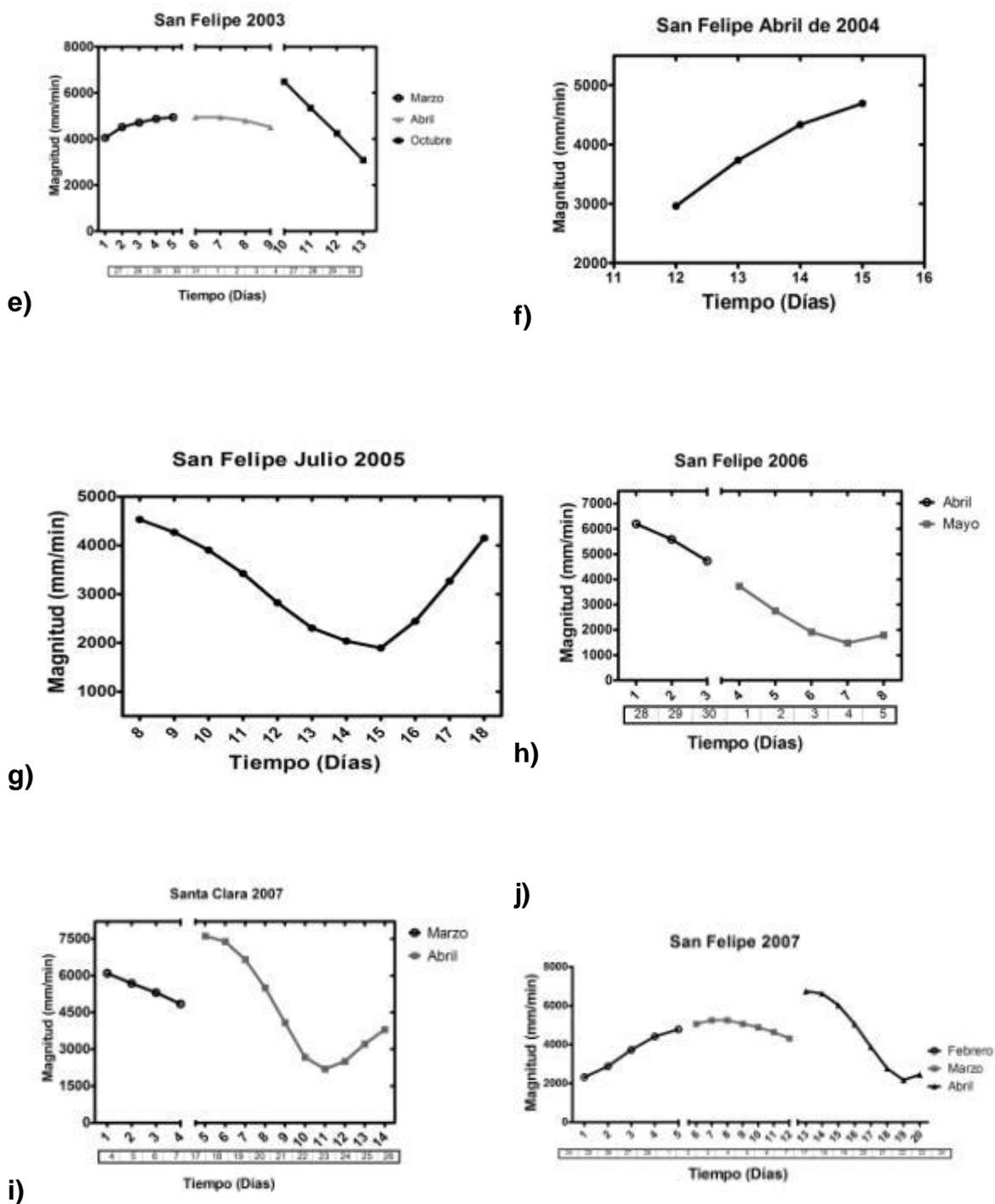


Figura 28. Magnitud de la marea: Día de muestreo y tres días anteriores de acuerdo a la zona de medición de mareas.

4. Discusión

La distribución de *Phocoena sinus* se concentra cerca de la costa noroeste del Alto Golfo de California. En cambio, los delfines de las especies *T. truncatus* y *D. delphis*, tienen una zona de distribución que abarca la gran mayoría de la zona de muestreo (Fig. 16).

Las distribuciones de *Phocoena sinus* y los delfines en este estudio, *Tursiops truncatus* y *Delphinus delphis*, ha sido bien estudiadas y son ampliamente conocidas.

En el caso de las dos especies de delfines, se han considerado especies cosmopolitas, con distribución pantropical. Algunas poblaciones suelen ser residentes, sin embargo pueden adaptarse a otras zonas si dejan la región de residencia, es decir, no son poblaciones especializadas a un hábitat restringido.

Hace algunos años, los delfines se consideraban restringidos a los trópicos, en aguas templadas. Sin embargo, en 2010 Olavarria *et al.* con base en muchos años de muestreo, sugieren que la especie *T. truncatus*, se esta desplazando cada vez más hacia zonas mas polares, y en este caso más sureñas, ellos registraron que la especie rápidamente colonizaba áreas nuevas del Pacífico sur. Lo que permite argumentar que *T. truncatus* es una especie con mucha plasticidad en su distribución.

Además de que las dos especies son cetáceos menores bien conocidos con la mayor abundancia entre los delfines de todo el mundo. Se cree que cuando forman residencia en alguna región, la principal razón es que la zona con una gran disponibilidad de alimento (López *et al.*, 2004).

En cambio *P. sinus* es una especie altamente especializada a una región restringida del Alto Golfo de California, donde se estima que la abundancia de la

especie disminuye exponencialmente (Jaramillo Legorreta, 2008; Gerrodette *et al.*, 2011). Además de que se ha reportado que esta especie viaja en pares o hasta tres integrantes de la manada. Se sabe que se distribuye en zonas turbias, someras y cálidas.

En el presente trabajo, también se encontró una disminución exponencial de *P. sinus*, con respecto a la tasa de encuentros acústicos de delfines de las dos especies más abundantes en el Alto Golfo de California, por lo que se pudiera suponer que uno de los factores que influye en la disminución de la vaquita sea la interacción que pudiera tener con los delfines, con los que comparte el hábitat, encontrando así un factor que influye negativamente en la abundancia de la especie, aunque no tan drásticamente como la pesca accidental, considerada la principal causa en la disminución de la población de vaquita (Semarnat, 2008).

Tomando en cuenta lo anterior, se puede comprender porqué el presente estudio tiene un mayor número de encuentros acústicos de delfines que de *P. sinus* aún cuando los muestreos fueron planificados para poder obtener una información certera de la distribución y abundancia de *P. sinus*. Una de las medidas implementadas es la reducción en lo más posible de contaminación acústica, razón por la cual se filtraron los sonidos a las bandas especificadas a lo largo de este escrito.

Esta restricción de bandas explica parcialmente la baja tasa de encuentro de delfines (1.47%), comparado con lo que pudiera esperarse de especies cosmopolitas que viajan en manadas que pueden llegar a ser de cientos en el caso de *T. truncatus* y hasta miles en *D. delphis*. Además que utilizan el sonido frecuentemente para la socialización, a diferencia de marsopas, que no tienen la capacidad de emitir sonidos a frecuencias tan bajas como los silbidos o los pulsos de los delfines. Lo que no quiere decir que cuando los delfines no están emitiendo sonidos de socialización no estén modulando sonidos a frecuencias de la ecolocación, tomando en cuenta el sesgo que se produce, al no tener datos más

amplios sobre avistamientos de individuos de las especies de delfines aquí estudiadas.

Sin embargo, al realizar la tasa de encuentro respecto al esfuerzo aplicado a las estaciones fijas, se encontró una tasa de encuentro mayor a la realizada al principio. En este cálculo la tasa de encuentro de delfines sigue siendo mayor a la de *P. sinus*, lo que puede ser reflejo de las diferencias entre abundancias locales de las especies.

En los resultados mostrados para las coincidencias espaciales entre los dos grupos de organismos *P. sinus* y los delfines (*Tursiops truncatus* y *Delphinus delphis*), se podría suponer que hay un traslapeo entre las especies y que se encontrarán al mismo tiempo en el mismo lugar. Sin embargo, aún cuando las coincidencias son espaciales, no se encontraron más que un registro de traslapeo temporal.

Lo que podría señalar que las zonas donde hubo coincidencias espaciales son regiones de alimentación, en especial para *P. sinus*, ya que su zona de distribución es reducida. Las dos especies de delfines tienen una distribución mucho más amplia y por lo tanto una mayor disposición de alimento, pero al entrar en la zona de distribución de *P. sinus*, pueden provocar interacciones negativas para *P. sinus* ya que las dietas de las tres especies de cetáceos son similares, se alimentan principalmente de peces y moluscos pelágicos y demersales, además de que las tres especies son depredadores tope (Borjesson *et al.*, 2003; Santos y Pierce, 2003; Díaz Uribe *et al.*, 2012). Sin embargo, se cree que *P. sinus* no realiza fonaciones para no ser detectada por otras especies más grandes y más agresivas como son *T. truncatus* y *D. delphis* o se aleja al detectar la presencia de estas especies. Los resultados encontrados en este estudio concuerdan con los encontrados por Pierce *et al.* (2010), donde al realizar monitoreos de *P. phocoena*, *T. truncatus* y *D. delphis*, encuentran que hay una relación negativa en las señales acústicas de *P. phocoena* cuando hay presencia de organismos de *T. truncatus*.

Cabe señalar que si bien es cierto que *P. sinus* y *P. phocoena* no son la misma especie, si son especies altamente emparentadas y las dos especies tienen los mismos hábitos de alimentación, reproducción y se distribuyen en sistemas con condiciones similares (Claudine *et al.* 2007).

La información anterior concuerda con nuestros datos. Al analizar la figura 24, podemos concluir que aunque los datos no sean susceptibles de un análisis estadístico robusto, permiten inferir que existe una relación inversa en la tasa de encuentro de *P. sinus* con respecto al aumento en la tasa de encuentro de delfines. Pudiendo suponer y a reservas de una muestra mayor y planeada para discernir esta pregunta, que si hay una influencia en la tasa de encuentro de *P. sinus* y la presencia de delfines de las especies *Tursiops truncatus* y *Delphinus delphis*, sin embargo, en este estudio no se puede afirmar que la mayoría de las fonaciones pertenezcan a *T. truncatus* ya que en este estudio no es posible distinguir entre especies de delfines.

La estimación promedio del lapso de separación entre encuentro de delfines y de vaquita, es de horas, sin embargo, a diferencia de lo esperado, los encuentros acústicos de vaquita que aparecieron después de los de delfines, tienen un lapso de separación menor que aquellos que ocurrieron antes, lo que podría llevar a suponer que la vaquita no se aleja del lugar cuando los delfines emiten sonidos, si no que se encuentran en el lugar, pero no emiten sonidos para no ser detectados, por los delfines, lo cual podría ser una estrategia, para poder alimentarse a la par de los delfines y no ser detectados, ya que se reporta que existen agresiones por parte de los delfines hacia marsopa común, además de aprovechar que tienen un mejor reconocimiento del área, por la mejor visión en zonas turbias que los delfines.

Este estudio es una base, para poder implementar un mejor protocolo de monitoreo, que proporcione una mejor estimación de la distribución y abundancia de la especie.

En los datos analizados se muestra que las señales acústicas de *P. sinus* se encuentran principalmente cuando aumenta la velocidad de la marea justo antes o después de la pleamar o bajamar. Este comportamiento también es observado por Isojunno *et al.*, (2012), en *P. phocoena*, concluyendo que la manera de obtener el alimento es cuando hay un mayor flujo de energía, y también se ha encontrado una mayor actividad en épocas de surgencia. Pierpoint (2008) también encuentra que la mayor distribución y fonación de *P. phocoena* se da en la pleamar y concluye que prácticamente su alimentación se restringe a las horas en las cuales la marea se encuentra en pleamar. Describe también que los hábitos de caza y obtención de alimento son muy característicos de zonas de alta energía, como las surgencias y la pleamar o las transiciones de bajamar.

5. Conclusiones

Se puede suponer que las fonaciones de ecolocación de delfines de las especies *Tursiops truncatus* y *Delphinus delphis* en el Alto Golfo de California tienen un efecto en la emisión de señales acústicas de *Phocoena sinus*. Las fonaciones de los delfines podrían afectar de forma directa o indirecta a la población de *P. sinus*, provocando que no emita señales acústicas o se aleje del área. Sin embargo no hay una influencia directa a la supervivencia, ya que la pesca accidental es el factor más limitante para la especie, que disminuye de forma considerable el número de individuos.

Con base en los resultados obtenidos y la literatura consultada, se puede suponer que la magnitud y la velocidad de la marea juegan un papel importante en la presencia o en la emisión de señales de ecolocación de *P. sinus*, siendo una característica importante de su ambiente, por lo que las horas de actividad de caza de *P. sinus* podría estar determinada por los regímenes de marea y las horas de bajamar y pleamar.

La distribución espacial podría estar determinada por la presencia de delfines de las dos especies más abundantes en el Golfo de California y la distribución temporal de *P. sinus* podrá deberse a los regímenes de marea que se presenten en su zona de distribución.

6. Referencias bibliográficas

- Álvarez, L. G. (2010). Bottom boundary layer properties in the Upper Gulf of California derived from velocity profiles. *Ciencias Marinas* 36: 285-299.
- Álvarez, L. G. & Jones S. E. (2004). Short-term observations of suspended particulate matter in a macro-tidal inverse estuary: The Upper Gulf of California. *Journal of Coastal Research*. 20: 646–654.
- Álvarez Borrego, S. & Lara Lara, J. R. (1991). The physical environment and primary productivity of the Gulf of California. *American Association of Petroleum Geologist Memoirs* 47: 555–567.
- Álvarez Borrego, S., B. P. Flores Báez & L. A. Galindo Bect. (1975). Hidrología del Alto Golfo de California II. Condiciones durante invierno, primavera y verano. *Ciencias Marinas* 2. 21–36.
- Adam, O., Motsch, J. F., Desharnais, F., DiMarzio, N., Gillespie, D. & Gisiner, R. C. (2006). Overview of the 2005 workshop on detection and localization of marine mammals using passive acoustics. *Applied Acoustics* 67:1061-1070.
- Akamatsu T. (2009). Cetacean bioacoustics with emphasis on recording and monitoring. In: Havelock D., Kuwano, S. & Vorländer, M. Handbook of Signal Processing in Acoustics. New York. *Springer*. 1897-1907.
- Au, W. (1993). The Sonar of Dolphins. New York, Springer Verlag.
- Au, W. (2009). Echolocation. In: Perrin, W., B. Würsig & Thewissen J.G.M. Encyclopedia of Marine Mammals (2nd ed.). Londres. *Academic Press*. 348-357.
- Au, W. & Lammers M. (2007). Cetacean Acoustics. In: Rossing T.D. Springer Handbook of Acoustics. *Springer New York*: 805-837.
- Ballance, L.T. (2009). Cetacean Ecology. In: Perrin, W., Würsig, B. & Thewissen J. G. M. *Encyclopedia of Marine Mammals*. 2nd ed. Londres, *Academic Press*.
- Barlow, J., Rojas Bracho, L., Muñoz Piña, C. & Mesnick, S. (2010). Conservation of the Vaquita (*Phocoena sinus*) in the Northern Gulf of California, Mexico. Cap. 15. In: Grafton Q., Hilborn, R., Squires, D., Tait, M. & Williams, M. *Handbook of Marine Fisheries Conservation and Management*. Oxford, UK. *Oxford University Press*.
- Bass, A. & Clark. C. (2003). The physical acoustics of underwater sound communication acoustic communication. In: Simmons A., Fay, R. & Popper, A. *Springer Handbook of Auditory Research*. New York, Springer.

- Berta, A., Sumich, J. L., Kovacs, K. M., Folkens, P. A. & Adam, P. J. (2006) a). Sound production for communication, echolocation, and prey capture. In: Berta, A., Sumich, J. L. & Kovacs, K. M. *Marine Mammals* (2nd ed.). Burlington. *Academic Press*.
- Berta, A., Sumich, J. L., Kovacs, K. M., Folkens, P. A. & Adam, P. J. (2006) b). Integumentary and sensory systems. In: Berta, A., Sumich, J. L. & Kovacs, K. M. *Marine Mammals* (2nd ed.). Burlington. *Academic Press*.
- Bowen, W. D., Read, A. J. & Estes, J. A. (2002). Feeding Ecology. In: Hoelzel A.R, *Marine Mammal Biology: An evolutionary approach*. Oxford. *Blackwell Scientific*.
- Borjesson, P., Berggren, P. & Ganning, B. (2003). Diet of harbour porpoises in the Kattegat and Skagerrak seas: Accounting for individual variation and sample size. *Marine Mammal Science* 19:38-58.
- Branstetter, B. K., Moore, P. W., Finneran, J. J., Tormey, M. N. & Aihara, H. (2012). Directional properties of bottlenose dolphin (*Tursiops truncatus*) clicks, burst-pulse, and whistle sounds. *Journal of the Acoustical Society of America* 131:1613-1621.
- Brill, R. L., Sevenich, M. L., Sullivan, T. J., Sustman, J. D. & Witt, R. E. (1988). Behavioral evidence for hearing through the lower jaw by an echolocating dolphin (*Tursiops truncatus*). *Marine Mammal Science* 4:223-230.
- Bullock, T.H., Grinnell, A. D., Ikezono, E., Kameda, K., Katsuki, M., Nomoto, Sato, O., Suga, N., & Yanigasawa, K. (1968). Electrophysiological studies of central auditory mechanisms in cetaceans. *Zeitschrift fur vergleichende Physiologie*. 59:117-156.
- Claudine, M., Emmanuel, D. & Jacques, M. (2007). Classification and Molecular Phylogeny. In: Miller D.L. *Reproductive Biology and Phylogeny of Cetacea: Whales, Porpoises and Dolphins*. Science Publishers.
- Cranford, T.W., Amundin, M. & Norris K.S. (1996). Functional morphology and homology in the odontocete nasal complex: Implications for sound generation. *Journal of Morphology*. 228:223-285.
- Cranford, T. W., Elsberry, W. R., Van Bonn, W. G., Jeffress, J. A., Chaplin, M. S., Blackwood, D. J., Carter, D. A., Kamolnick, T., Todd, M. A. & Ridgway S. H. (2011). Observation and analysis of sonar signal generation in the bottlenose dolphin (*Tursiops truncatus*): Evidence for two sonar sources. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*. 407:81-96.
- Dehnhardt, G. (2002). Sensory System In: Hoelzel A.R, *Marine Mammal Biology: An evolutionary approach*. Oxford. *Blackwell Scientific*.

- Diaz Uribe, J. G., Arreguin Sanchez, F., Lercari Bernier, D., Cruz Escalona, V. H., Zetina Rejon, M. J., Del Monte Luna, P. & Martinez Aguilar, S. (2012). An integrated ecosystem trophic model for the North and Central Gulf of California: An alternative view for endemic species conservation. *Ecological Modelling* 230:73-91.
- Dairio Oficial de la Federación.(2010), Norma Oficial Mexicana NOM-059_SEMARNAT-2010. Protección ambiental de especies nativas de México de flora y fauna silvestre-Categorías de riesgo y especificaciones para su inclusión, exclusión o cambio-lista de especies en riesgo.
- Dubrovsky, N. (2004). Echolocation system of the bottlenose dolphin. *Acoustical Physics*. 50: 305-317.
- Elliott, R. G., Dawson, S. M. & Henderson, S. (2011). Acoustic monitoring of habitat use by bottlenose dolphins in Doubtful Sound, New Zealand. *New Zealand Journal of Marine and Freshwater Research* 45:637-649.
- Evans, W. E. (1994). Common dolphin, white-bellied porpoise - *Delphinus delphis* Linnaeus, 1758. In: Ridgway S. H., Harrison S. R. *Handbook of marine mammals Vol. 5: The first book of dolphins*. Academic Press, London.
- Gerrodette, T., Taylor, B. L., Swift, R. S., Rankin, R., Jaramillo Legorreta, A. M. & Rojas Bracho, A. M. (2011). A combined visual and acoustic estimate of 2008 abundance, and change in abundance since 1997, for the vaquita, *Phocoena sinus*. *Marine Mammal Science* 27:E79-E100.
- Gillespie, D. & Chappell, O. (2002). An automatic system for detecting and classifying the vocalisations of harbour porpoises. *Bioacoustics* 13:37-61.
- Huggenberger, S., Rauschmann, M. A., Vogl, T. J. & Oelschlager, H. H. (2009). Functional morphology of the nasal complex in the harbor porpoise (*Phocoena phocoena* L.). *Anatomical Record* 292:902-920.
- IUCN, (2012). IUCN Red List of Threatened Species. Versión 2012.1. Recuperado de: <http://www.iucnredlist.org>. 19 Julio 2012
- Isojunno, S., Matthiopoulos, J. & Evans, P. G. H. (2012). Harbour porpoise habitat preferences: robust spatio-temporal inferences from opportunistic data. *Marine Ecology-Progress Series* 448:155-242.
- Jaramillo Legorreta, A. M. (2008). Estatus actual de una especie en peligro de extinción, la vaquita (*Phocoena sinus*): Una aproximación poblacional con métodos acústicos y bayesianos. (Tesis de doctorado), Universidad Autónoma de Baja California. Ensenada B.C, México.

- Jaramillo Legorreta, A., Rojas Bracho, L., Urbán Ramírez, J. (2005). *A Review of Acoustic Surveys and Conservation Actions for the Vaquita*. Scientific Committee Document SC/SM/10, International Whaling Commission, Cambridge, UK.
- Jefferson, T., Leatherwood, S. & Woobber, M. (1993). *Marine mammals of the world*. FAO Species Identification Guide. Food and Agriculture Organization, Roma.
- Jefferson, T. A., Webber, M. A. & Pitman, R. L. (2008). a). 4 - Cetaceans. In: Jefferson, T. A., Webber, M. A. & Pitman, R. L. *Marine Mammals of the World*. San Diego, C.A., Academic Press
- Jefferson, T. A., Webber, M. A. & Pitman, R. L. (2008) b). Key to nature. Marine species identification portal. Por: BioInformatics. <http://species-identification.org>. Revisado: 15 de Junio de 2011
- Jefferson, T. A., Webber, M. A. & Pitman, R. L. (2008). c). 2- Basic Marine Mammal Biology In: Jefferson, T. A., Webber, M. A. & Pitman, R. L. *Marine Mammals of the World*. San Diego, C.A., Academic Press
- Kastelein, R. A., Verboom, W. C., Muijsers, M., Jennings N. V. & Van Der Heul, S. (2005). The influence of acoustic emissions for underwater data transmission on the behaviour of harbour porpoises (*Phocoena phocoena*) in a floating pen. *Marine Environmental Research* 59:287-307.
- Kuperman, W. & Roux, P. (2007). Underwater Acoustics. In: T. D. Rossing. *Springer Handbook of Acoustics*. New York, Springer.
- Laiolo, P. (2010). The emerging significance of bioacoustics in animal species conservation. *Biological Conservation* 143:1635-1645.
- Lluch Cota S., Aragón Noriega, E. A., Arreguín Sánchez, F., Aurióles Gamboa, D., Bautista Romero, J. J., Brusca, R. C., R. Cervantes Duarte, Cortés Altamirano, R., Del Monte Luna, P., Esquivel Herrera, A., Fernández, G., Hendrickx, M. E., Hernández Vázquez, S., Herrera Cervantes, H., Kahru, M., Lavín, M., Lluch Belda, D., Lluch Cota, D. B., López Martínez, J., Marinone, S. G., Nevárez Martínez, M. O., Ortega García, S. E., Palacios Castro, S., Parés Sierra, A., Ponce Díaz, G., Ramírez Rodríguez, M., Salinas-Zavala, C. A., Schwartzlose, R. A. & Sierra Beltrán, A. P. (2007). The Gulf of California: Review of ecosystem status and sustainability challenges. *Progress in Oceanography*. 73. 1-26.
- López A., Pierce, G. J., Valeiras, X., Santos, M. B. & Guerra, A. (2004). Distribution patterns of small cetaceans in Galician waters. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom*. 84:283-294.

- McCormick, J. G., Wever, E. G., Palm, G. & Ridgway, S. H. (1970). Sound conduction in the dolphin ear. *Journal of the Acoustical Society of America*. 48: 1418–1428.
- Mc Ginley M, Hogan C. M. (2008). Gulf of California large marine ecosystem. Environmental Information Coalition, National Council for Science and the Environment. Recuperado de: http://www.eoearth.org/article/Gulf_of_California_large_marine_ecosystem?topic=49597>
- Mead, J. G. & Potter, C. W. (1990). Natural history of bottlenose dolphins along the central Atlantic coast of the United States. In: Leatherwood S. & R.R. Reeves. *The Bottlenose Dolphin*. San Diego, C.A., Academic Press, 165 – 195.
- Mellinger, D. K., Stafford, K. M., Moore, S. E., Dziak, R. P. & Matsumoto, H. (2007). An Overview of Fixed Passive Acoustic Observation Methods for Cetaceans. *Oceanography* 20:36-45.
- Morales Zárata M., Arreguín Sánchez, F., López Martínez, J. & Lluch Cota, S. (2004). Ecosystem trophic structure and energy flux in the Northern Gulf of California, México. *Ecological Modelling* 17:331–345.
- NLBIF. *Marine mammals of the world* [en línea]. (1993). Jefferson T.A. S. Leatherwood & M: A Webber. Recuperado de: http://wbd.etibioinformatics.nl/bis/marine_mammals.php?selected=beschrijving&menuentry=soorten&id=111.
- Norris, K. & McFarland, W. (1958). A new harbor porpoise of the genus *Phocoena* from the Gulf of California. *Journal of Mammalogy* 39:22–39.
- Olavarria, C., Acevedo, J., Vester, H. I., Zamorano Abramson, J., Viddi, F. A., Gibbons, J., Newcombe, E., Capella, J., Hoelzel, A. R., Flores, M., Hucke Gaete, R., & Torres Florez, J. P. (2010). Southernmost Distribution of Common Bottlenose Dolphins (*Tursiops truncatus*) in the Eastern South Pacific. *Aquatic Mammals* 36:288-293.
- Orozco, M. A. (2000). Uso de habitat por la tonina (*Tursiops truncatus*) y su relación con las mareas en la Bahía de San Jorge, Sonora. Tesis de Maestro. Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada. Ensenada, BC, México
- Oswald, J. N., Rankin, S., Barlow, J. & Lammers, M. O. (2007). A tool for real-time acoustic species identification of delphinid whistles. *Journal of the Acoustical Society of America* 122:587-595.

- Pauly, D., Trites, A., Capuli, E. & Christensen, V. (1998). Diet composition and trophic levels of marine mammals. *ICES Journal of Marine Science*, 55: 467–481.
- Pavan, G., Adam, O. & Thomas, L. (2010). Proceedings of the 4th International Workshop on Detection, Classification and Localization of Marine Mammals Using Passive Acoustics, and 1st International Workshop on Density Estimation of Marine Mammals Using Passive Acoustics, University of Pavia, Collegio Cairoli, Italy, September 2009. 10–13. *Applied Acoustics* 71:991-993.
- Perrin, W. F. (2009). Common Dolphins: *Delphinus delphis* y *D. capensis*. In: Perrin W., B. Würsig & J.G.M. Thewissen. *Encyclopedia of Marine Mammals* 2nd ed. London. Academic Press.
- Pierce, G. J., Caldas, M., Cedeira, J., Santos, M. B., Llavona, A., Covelo, P., Martinez, G., Torres, J., Sacau, M. & López, A. (2010). Trends in cetacean sightings along the Galician coast, north-west Spain, 2003-2007, and inferences about cetacean habitat preferences. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom* 90:1547-1560.
- Pierpoint, C. (2008). Harbour porpoise (*Phocoena phocoena*) foraging strategy at a high energy, near-shore site in south-west Wales, UK. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom* 88:1167-1173.
- Popov, V. V. & Supin, A. Y. (2001). Contribution of various frequency bands to ABR in dolphins. *Hearing Research* 151:250-260.
- Read, A. J. (1995). New approaches to studying the foraging ecology of small cetaceans. *Developments in Marine Biology*. 4:183–191.
- Redfern, J. V., Ferguson, M. C., Becker, E. A., Hyrenbach, K. D., Good, C., Barlow, J., Kaschner, K., Baumgartner, M. F., Forney, K. A., Ballance, L. T., Fauchald, P., Halpin, P., Hamazaki, T., Pershing, A. J., Qian, S. S., Read, A., Reilly, S. B., Torres, L. & Werner, F. (2006). Techniques for cetacean-habitat modeling. *Marine Ecology Progress Series* 310:271-295.
- Rojas Bracho, L. & Jaramillo Legorreta A. M. (2009). Vaquita: *Phocoena sinus*. In: Perrin W., B. Würsig & J.G.M. Thewissen. *Encyclopedia of Marine Mammals* 2nd ed. London. Academic Press.
- Rédei, G. P. (2008). Paraphyletic Group In: *Encyclopedia of Genetics, Genomics, Proteomics and Informatics*. Netherlands, Springer.
- Sanchez Velasco, L, Lavin, M. F., Jimenez Rosenberg, S. P. A., J.M. Montes & P.J. Turk Boyer. (2012). Larval fish habitats and hydrography in the Biosphere

- Reserve of the Upper Gulf of California (June 2008). *Continental Shelf Research*. 33:89-99.
- Santos, M. B. & Pierce G. J. (2003). The diet of harbour porpoise (*Phocoena phocoena*) in the northeast Atlantic. Pages 355-390 *In*: R.N. Gibson and R. J. A. Atkinson. *Oceanography and Marine Biology* 41.
- Semarnat (2008). Programa de Acción para la Conservación de la Especie: Vaquita (*Phocoena sinus*).
- Silber, G. K., Newcomer, M. W., Silber, P. C., Pérez Cortés, M. & Ellis, G. M. (1994). Cetaceans of the Northern Gulf of California: distribution, occurrence, and relative abundance. *Marine Mammal Science*. 10:283-298.
- Spitza J., Rousseau, Y. & Ridoux, V. (2006). Diet overlap between harbour porpoise and bottlenose dolphin: An argument in favour of interference competition for food?. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 70:259-270.
- Thewissen J. G. M. (2009). Sensory Biology: Overview. *In*: Perrin, W., B. Würsig & Thewissen J.G.M *Encyclopedia of Marine Mammals*. 2nd ed. Academic Press, Londres.
- Tiemann, C. O., Porter, M. B. & Frazer, L. N. (2004). Localization of marine mammals near Hawaii using an acoustic propagation model. *The Journal of the Acoustical Society of America* 115:2834-2843.
- Tyack, P. L. & Miller, E. H. (2002). Vocal anatomy, acoustic communication, and echolocation in marine mammals. *In*: Hoelzel A.R. *Marine Mammal Biology: An Evolutionary Approach*. Oxford, U.K, Blackwell Scientific.
- Todd, V. L. G., Pearse, W. D., Tregenza, N. C., Lepper, P. A. & Todd, I. B. (2009). Diel echolocation activity of harbour porpoises (*Phocoena phocoena*) around North Sea offshore gas installations. *Ices Journal of Marine Science* 66:734-745.
- Vidal O., Brownell, R. L. & Findlay, L. T. (1999). Vaquita *Phocoena sinus* Norris and McFarland, 1958. *En* Ridgway S.H. & R. Harrison. *Handbook of Marine Mammals, Vol. 6: The Second Book of Dolphins and the Porpoises* Academic Press. Londres.
- Weir, C., Macleod, C. & Calderan, S. (2009). Fine-scale habitat selection by white-beaked and common dolphins in the Minch (Scotland, UK): evidence for interspecific competition or coexistence? *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom*. 89: 951-960.

- Wells, R. S. & Scott, M. D. (2009). Common Bottlenose Dolphin: *Tursiops truncatus*. In: Perrin, W., B. Würsig & Thewissen J.G.M. *Encyclopedia of Marine Mammals*. 2nd ed. Academic Press, Londres.
- Wells, R. S. & Scott, M. D. (1999). Bottlenose dolphin *Tursiops truncatus* (Montagu, 1821). In: Ridgway S. H. & R. Harrison. *Handbook of marine mammals Vol. 6. The second book of dolphins and porpoises* San Diego, C.A., Academic press
- Zamudio L., Metzger, E. J. & Hogan, P. (2011). Modeling the seasonal and interannual variability of the northern Gulf of California salinity. *Journal of Geophysical Research-Oceans*. 116.

Apéndice A

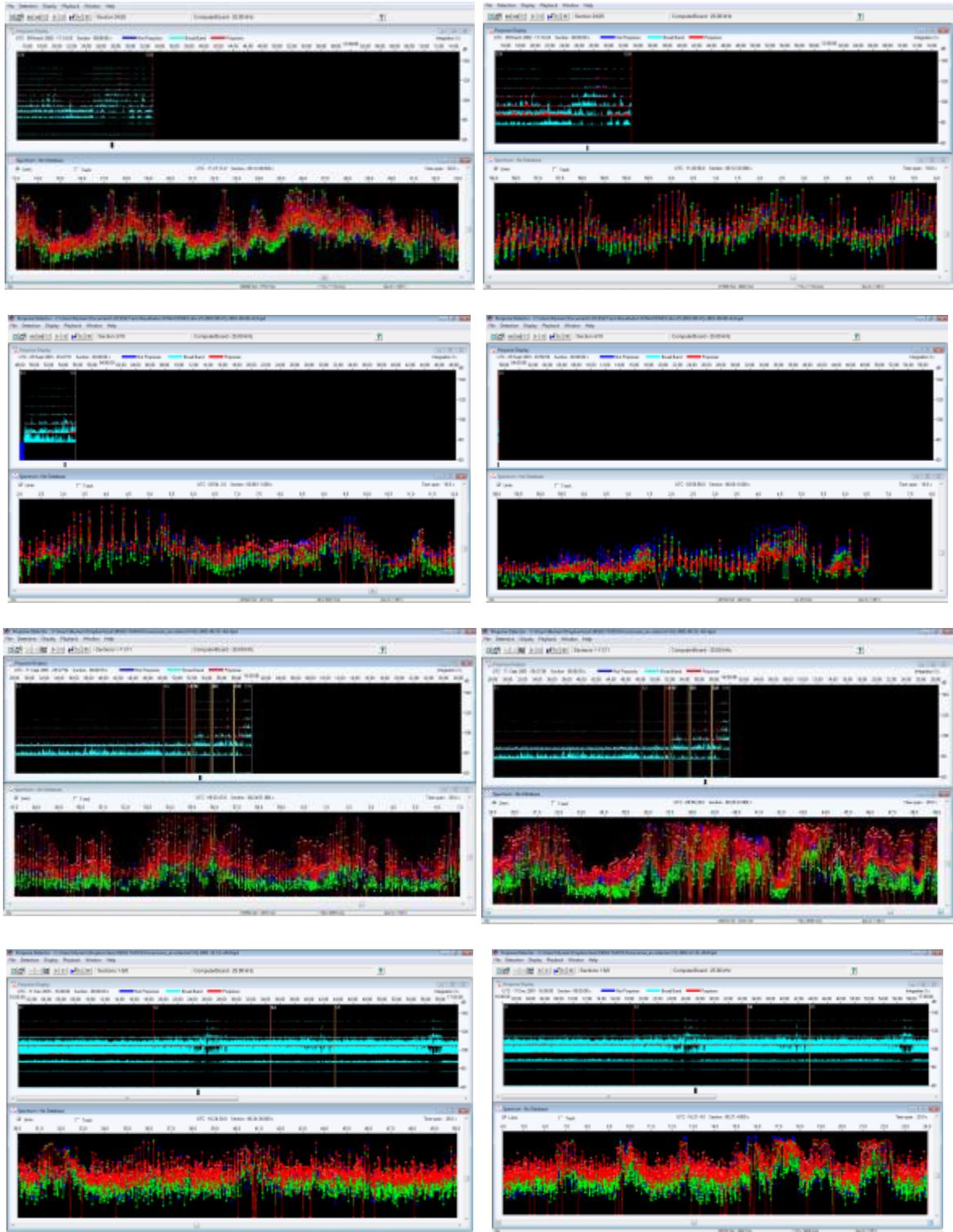
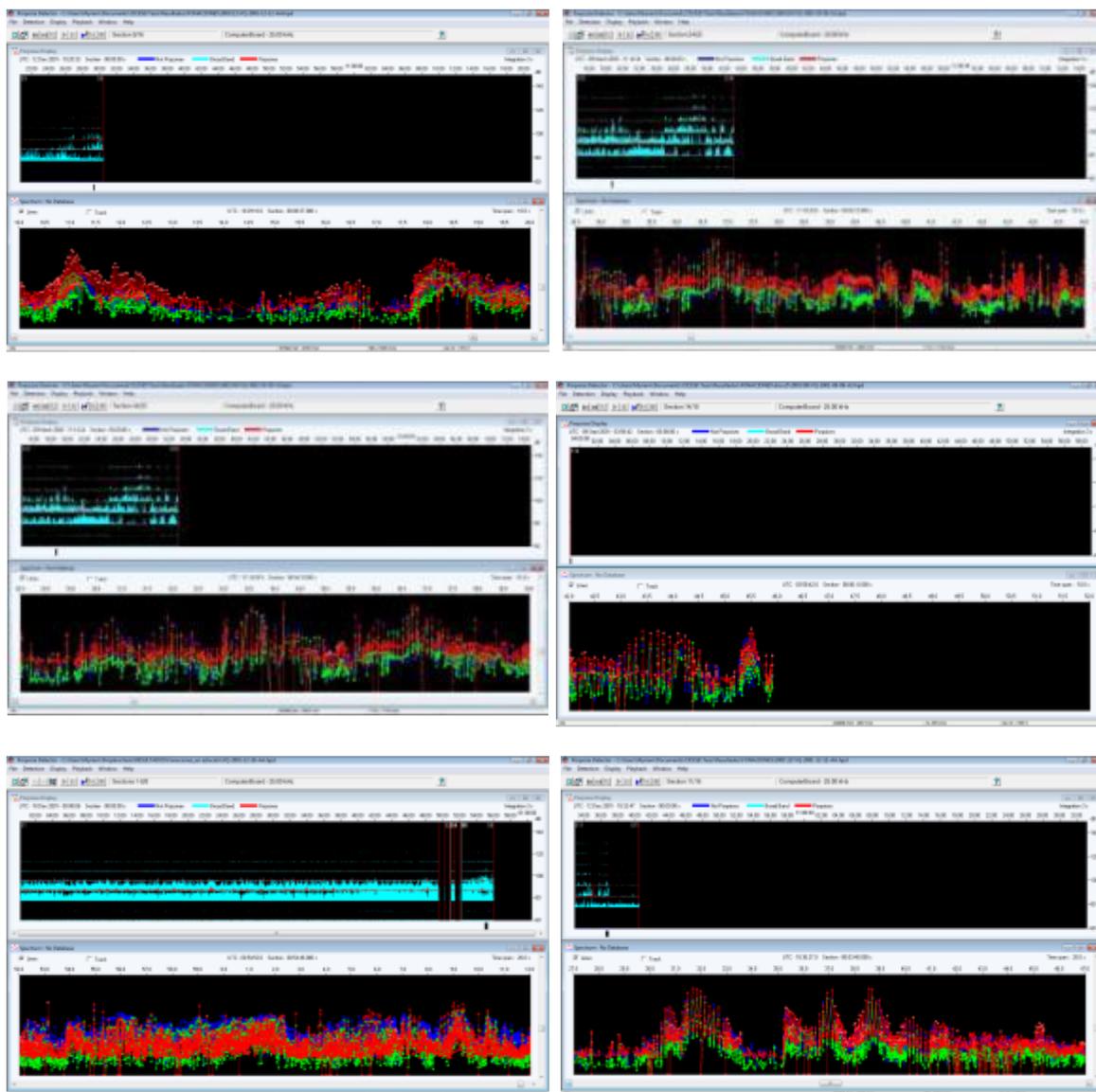


Figura A-1 Detecciones representativas de delfines (*Tursiops truncatus* y *Delphinus delphis*) de todos los años de muestreo.



Continuación Figura A-1.



Continuación Figura A-1

Apéndice B

Tabla B-1 Encuentros acústicos de delfines (*Tursiops truncatus* y *Delphinus delphis*).

Id	Crucero	Estación	Fonación	Fecha	Hora de inicio	Hora Fin	Duración (horas.)
1	2001-06	6	1	08/06/2001	04:43:44 p.m.	04:45:12 p.m.	0:01:28
2	2001-06	6	2	08/06/2001	04:54:00 p.m.	04:55:03 p.m.	0:01:03
3	2001-06	10	1	11/06/2001	02:34:39 a.m.	02:34:56 a.m.	0:00:17
4	2001-06	10	2	11/06/2001	02:36:15 a.m.	02:39:51 a.m.	0:03:36
5	2001-06	10	3	11/06/2001	02:39:51 a.m.	02:40:20 a.m.	0:00:29
6	2001-09	1	1	09/09/2001	07:50:41 p.m.	02:39:43 a.m.	0:01:40
7	2001-09	3	1	11/09/2001	09:27:57 a.m.	09:29:37 a.m.	0:00:03
8	2001-09	3	2	11/09/2001	09:30:36 a.m.	09:30:39 a.m.	0:00:37
9	2001-09	3	3	11/09/2001	09:33:40 a.m.	09:34:17 a.m.	0:00:49
10	2001-09	3	4	11/09/2001	09:35:28 a.m.	09:36:17 a.m.	0:00:36
11	2001-09	3	5	11/09/2001	09:36:54 a.m.	09:37:30 a.m.	0:01:07
12	2001-09	3	6	11/09/2001	09:37:58 a.m.	09:39:05 a.m.	0:00:41
13	2001-09	3	7	11/09/2001	09:39:13 a.m.	09:39:54 a.m.	0:00:41
14	2001-09	3	8	11/09/2001	09:40:00 a.m.	09:40:41 a.m.	0:01:31
15	2001-09	3	9	11/09/2001	09:41:23 a.m.	09:42:54 a.m.	0:01:13
16	2001-09	3	10	11/09/2001	09:42:02 a.m.	09:43:15 a.m.	0:03:33
17	2001-09	3	11	11/09/2001	09:43:00 a.m.	09:46:33 a.m.	0:01:47
18	2001-09	3	12	11/09/2001	09:44:12 a.m.	09:45:59 a.m.	0:02:06
19	2001-09	3	13	11/09/2001	09:45:21 a.m.	09:47:27 a.m.	0:02:00
20	2001-09	3	14	11/09/2001	09:46:05 a.m.	09:48:05 a.m.	0:01:01
21	2001-09	3	15	11/09/2001	09:48:13 a.m.	09:49:14 a.m.	0:00:31
22	2001-09	3	16	11/09/2001	09:49:23 a.m.	09:49:54 a.m.	0:00:35
23	2001-09	3	17	11/09/2001	09:50:19 a.m.	09:50:54 a.m.	0:01:37
24	2001-09	3	18	11/09/2001	09:52:00 a.m.	09:53:37 a.m.	0:00:55
25	2001-09	3	19	11/09/2001	09:53:35 a.m.	09:54:30 a.m.	0:00:25
26	2001-09	3	20	11/09/2001	09:54:18 a.m.	09:54:43 a.m.	0:00:32
27	2001-09	3	21	11/09/2001	09:54:52 a.m.	09:55:24 a.m.	0:00:31
28	2001-09	3	22	11/09/2001	09:55:39 a.m.	09:56:10 a.m.	0:00:49
29	2001-09	3	23	11/09/2001	09:56:15 a.m.	09:57:04 a.m.	0:00:38
30	2001-09	3	24	11/09/2001	09:57:16 a.m.	09:57:54 a.m.	0:01:59
31	2001-09	3	25	11/09/2001	09:58:00 a.m.	09:59:59 a.m.	0:00:03
36	2001-12	1	1	11/12/2001	04:19:12 p.m.	04:19:15 p.m.	0:00:12
37	2001-12	1	2	11/12/2001	04:22:20 p.m.	04:22:32 p.m.	0:01:06
38	2001-12	1	3	11/12/2001	04:22:42 p.m.	04:23:48 p.m.	0:03:40
39	2001-12	1	4	11/12/2001	04:23:57 p.m.	04:27:37 p.m.	12:00:10
40	2001-12	1	5	11/12/2001	04:27:48 a.m.	04:27:58 p.m.	0:00:21
41	2001-12	1	6	11/12/2001	04:28:18 p.m.	04:28:39 p.m.	0:00:12

Continuación Tabla B-1

42	2001-12	1	7	11/12/2001	04:42:38 p.m.	04:42:50 p.m.	0:00:10
43	2001-12	1	8	11/12/2001	04:54:30 p.m.	04:54:40 p.m.	0:00:24
44	2001-12	1	9	11/12/2001	04:55:09 p.m.	04:55:33 p.m.	0:00:20
45	2001-12	1	10	11/12/2001	04:55:27 p.m.	04:55:47 p.m.	0:02:05
51	2001-12	2	1	13/12/2001	02:01:24 a.m.	02:03:29 a.m.	0:00:09
52	2001-12	2	2	13/12/2001	02:05:05 a.m.	02:05:14 a.m.	0:00:04
80	2001-12	5	1	18/12/2001	12:16:16 a.m.	12:16:20 a.m.	0:00:05
81	2001-12	5	2	18/12/2001	12:22:20 a.m.	12:22:25 a.m.	0:31:11
82	2001-12	5	3	18/12/2001	12:25:58 a.m.	12:57:09 a.m.	0:00:05
83	2001-12	5	4	18/12/2001	12:26:42 a.m.	12:26:47 a.m.	0:00:21
84	2001-12	5	5	18/12/2001	12:28:14 a.m.	12:28:35 a.m.	0:00:09
85	2001-12	5	6	18/12/2001	12:28:46 a.m.	12:28:55 a.m.	0:00:12
86	2001-12	5	7	18/12/2001	12:29:30 a.m.	12:29:42 a.m.	0:00:31
87	2001-12	5	8	18/12/2001	12:31:16 a.m.	12:31:47 a.m.	0:00:09
88	2001-12	5	9	18/12/2001	12:32:11 a.m.	12:32:20 a.m.	0:00:20
89	2001-12	5	10	18/12/2001	12:35:36 a.m.	12:35:56 a.m.	0:00:14
90	2001-12	5	11	18/12/2001	12:36:07 a.m.	12:36:21 a.m.	0:00:21
91	2001-12	5	12	18/12/2001	12:36:46 a.m.	12:37:07 a.m.	0:01:02
92	2001-12	5	13	18/12/2001	12:39:04 a.m.	12:40:06 a.m.	0:00:03
93	2001-12	5	14	18/12/2001	12:41:50 a.m.	12:41:53 a.m.	0:01:26
94	2001-12	5	15	18/12/2001	12:44:02 a.m.	12:45:28 a.m.	0:00:42
95	2001-12	5	16	18/12/2001	12:46:30 a.m.	12:47:12 a.m.	0:00:39
96	2001-12	5	17	18/12/2001	12:47:27 a.m.	12:48:06 a.m.	0:00:15
97	2001-12	5	18	18/12/2001	12:53:06 a.m.	12:53:21 a.m.	0:00:12
98	2001-12	5	19	18/12/2001	12:53:42 a.m.	12:53:54 a.m.	0:00:10
99	2001-12	5	20	18/12/2001	12:53:59 a.m.	12:54:09 a.m.	0:00:10
100	2001-12	5	21	18/12/2001	12:54:18 a.m.	12:54:28 a.m.	0:00:47
101	2001-12	5	22	18/12/2001	12:54:30 a.m.	12:55:17 a.m.	0:00:00
102	2001-12	5	23	18/12/2001	12:55:32 a.m.	12:55:32 a.m.	12:00:20
113	2002-03	3	1	08/03/2002	08:59:29 a.m.	08:59:49 p.m.	0:01:14
114	2002-03	3	2	08/03/2002	09:02:02 p.m.	09:03:16 p.m.	0:01:33
115	2002-03	3	3	08/03/2002	09:06:04 p.m.	09:07:37 p.m.	0:00:43
116	2002-03	3	4	08/03/2002	09:09:38 p.m.	09:10:21 p.m.	0:03:18
117	2002-03	3	5	08/03/2002	09:10:55 p.m.	09:14:13 p.m.	0:00:39
118	2002-03	3	6	08/03/2002	09:14:16 p.m.	09:14:55 p.m.	0:00:14
119	2002-03	3	7	08/03/2002	09:14:59 p.m.	09:15:13 p.m.	1:00:11
120	2002-03	3	8	08/03/2002	09:17:59 p.m.	10:18:10 p.m.	0:00:16
121	2002-03	3	9	08/03/2002	09:20:26 p.m.	09:20:42 p.m.	0:00:24
122	2002-03	3	10	08/03/2002	09:20:56 p.m.	09:21:20 p.m.	0:00:10
124	2002-03	4	1	10/03/2002	07:11:53 a.m.	07:12:03 a.m.	0:01:16
125	2002-03	4	2	10/03/2002	07:11:05 a.m.	07:12:21 a.m.	0:00:12

Continuación Tabla B-1

126	2002-03	4	3	10/03/2002	07:32:01 a.m.	07:32:13 a.m.	0:00:10
127	2002-03	4	4	10/03/2002	07:34:09 a.m.	07:34:19 a.m.	0:00:17
128	2002-03	4	5	10/03/2002	07:34:55 a.m.	07:35:12 a.m.	0:00:11
129	2002-03	4	6	10/03/2002	07:35:37 a.m.	07:35:48 a.m.	0:00:23
130	2002-03	4	7	10/03/2002	07:38:13 a.m.	07:38:36 a.m.	0:00:12
131	2002-05	2	1	25/05/2002	12:41:18 a.m.	12:41:30 a.m.	0:00:05
132	2002-05	2	2	25/05/2002	12:42:50 a.m.	12:42:55 a.m.	0:00:09
133	2002-05	2	3	25/05/2002	12:43:13 a.m.	12:43:22 a.m.	0:00:07
135	2002-05	3	1	26/05/2002	02:04:41 p.m.	02:04:48 p.m.	0:00:14
136	2002-05	5	1	28/05/2002	12:36:38 a.m.	12:36:52 a.m.	0:00:13
139	2002-05	6	1	29/05/2002	01:24:35 a.m.	01:24:48 a.m.	0:01:00
140	2002-05	7	1	30/05/2002	10:00:12 a.m.	10:01:12 a.m.	0:00:07
142	2006-05	2	1	06/05/2006	05:08:51 a.m.	05:08:58 a.m.	0:01:04
143	2007-04	5	1	26/04/2007	09:49:16 a.m.	09:50:20 a.m.	0:02:16
144	2007-04	5	2	26/04/2007	09:50:24 a.m.	09:52:40 a.m.	0:00:51
145	2007-04	5	3	26/04/2007	09:53:02 a.m.	09:53:53 a.m.	0:00:29
146	2007-04	5	4	26/04/2007	09:53:59 a.m.	09:54:28 a.m.	0:00:30
147	2007-04	5	5	26/04/2007	09:54:39 a.m.	09:55:09 a.m.	0:00:07
148	2007-04	5	6	26/04/2007	09:56:09 a.m.	09:56:16 a.m.	0:00:18
149	2007-04	5	7	26/04/2007	09:56:49 a.m.	09:57:07 a.m.	0:00:27
150	2007-04	5	8	26/04/2007	09:57:21 a.m.	09:57:48 a.m.	0:00:16
151	2007-04	5	9	26/04/2007	09:58:35 a.m.	09:58:51 a.m.	0:00:12
152	2007-04	5	10	26/04/2007	09:59:41 a.m.	09:59:53 a.m.	0:00:45
173	2007-04	6	1	26/04/2007	05:21:00 p.m.	05:21:45 p.m.	0:00:30
177	2001-12	1	11	11/12/2001	04:40:01 p.m.	04:40:31 p.m.	0:00:24
178	2001-12	1	12	11/12/2001	04:56:11 p.m.	04:55:47 p.m.	0:00:23
179	2001-12	1	13	11/12/2001	04:56:09 p.m.	04:56:32 p.m.	0:00:08
180	2002-05	6	2	29/05/2002	01:25:03 a.m.	01:25:11 a.m.	0:00:12
181	2002-05	6	3	29/05/2002	01:25:18 a.m.	01:25:30 a.m.	0:00:29
182	2002-05	6	4	29/05/2002	01:25:49 a.m.	01:26:18 a.m.	0:00:34
183	2002-05	6	5	29/05/2002	01:27:42 a.m.	01:28:16 a.m.	0:00:18
184	2002-05	6	6	29/05/2002	01:28:58 a.m.	01:29:16 a.m.	0:01:48
185	2002-05	6	7	21/05/2005	01:29:40 a.m.	01:31:28 a.m.	0:01:10
186	2002-05	6	8	21/05/2005	01:32:44 a.m.	01:33:54 a.m.	0:01:23
187	2002-05	6	9	21/05/2005	01:34:26 a.m.	01:35:49 a.m.	0:01:03
188	2002-05	6	10	21/05/2005	01:35:50 a.m.	01:36:53 a.m.	0:00:12
189	2002-05	6	11	21/05/2005	01:57:29 a.m.	01:57:41 a.m.	0:02:24
190	2002-05	7	2	30/05/2002	10:01:33 a.m.	10:03:57 a.m.	0:00:44
191	2002-05	7	3	30/05/2002	10:04:01 a.m.	10:04:45 a.m.	0:00:17
192	2002-05	7	4	30/05/2002	10:05:19 a.m.	10:05:36 a.m.	0:00:18
193	2002-05	7	5	30/05/2002	11:18:10 a.m.	11:18:28 a.m.	0:01:28

Tabla B-2. Encuentros acústicos de *Phocoena sinus* y delfines (*Tursiops truncatus* y *Delphinus delphis*).

Crucero	Estación	Latitud	Longitud	Esfuerzo	Vaquita				Delfines				
					Fecha	Hora	Encuentro	Tasa	Fecha	Hora	Encuentro	Tasa	
2001-06	1	31.12555	-114.7511	3.48	06/06/2001	13:53:02	0					0	
	2	31.38487	-114.7497	4.98	06/06/2001	21:19:13	0					0	
	3	31.38003	-114.4924	4.69	07/06/2001	05:34:45	0					0	
	4	31.133	-114.2574	3.01	07/06/2001	15:34:00	0					0	
	5	31.11785	-114.5028	5.38	07/06/2001	21:43:43	1	0.186				0	
	6	31.11539	-114.5828	6.09	08/06/2001	06:02:44	4	0.657	08/06/2001	04:00:00	2	0.328	
	7	30.83152	-114.4987	4.85	09/06/2001	21:35:20	0					0	
	8	31.11415	-114.4187	4.54	10/06/2001	06:28:24	0					0	
	9	31.41703	-114.4169	4.45	10/06/2001	14:39:13	0					0	
	10	31.50125	-114.5826	3.21	10/06/2001	22:10:41	0		11/06/2001	02:00:07	3	0.935	
	11	31.24165	-114.4973	4.59	11/06/2001	07:16:33	0					0	
	12	31.09037	-114.5098	4.54	11/06/2001	15:17:49	0					0	
	13	30.99908	-114.4994	4.7	11/06/2001	22:18:01	0					0	
	14	31.24898	-114.6677	3.75	12/06/2001	07:09:42	0					0	
	15	31.08248	-114.7226	3.79	12/06/2001	13:04:39	3	0.791				0	
2001-09	1	31.33317	-113.9997	19.85	08/09/2001	19:51:20	0		09/09/2001	19:50:41	1	0.050	
	2	31.53352	-114.4671	20.46	09/09/2001	22:23:38	0				0		
	3	31.46702	-114.7843	21.35	10/09/2001	23:47:32	0		11/09/2001	20:00:14	29	1.358	
	4	31.24955	-114.6664	16.06	12/09/2001	00:13:00	0				0		
2001-12	1	31.41813	-113.8323	31.43	10/12/2001	21:14:03	0		11/12/2001	08:00:04	15	0.477	
	2	31.56342	-114.3666	18.51	12/12/2001	11:52:32	0		13/12/2001	20:14:51	4	0.216	
	3	31.6518	-114.7354	14.26	13/12/2001	14:45:47	0		14/12/2001	22:00:02	25	1.753	
	4	31.20263	-114.7611	4.44	14/12/2001	18:26:08	0				0		
	5	30.99848	-114.5813	16.11	17/12/2001	05:25:58	0		18/12/2001	01:16:56	33	2.048	

Continuación Tabla B-2

2002-03	1	31.30635	-114.6815	15.36	28/02/2002	16:10:21	0			0	
	2	31.08417	-114.6667	10.96	07/03/2002	19:14:00	3	0.274		0	0
	3	31.60283	-114.631	17.6	08/03/2002	12:51:18	0		08/03/2002	04:00:05	11 0.625
	4	31.10067	-114.4613	17.82	09/03/2002	14:37:41	0		10/03/2002	22:00:11	7 0.393
	5	30.666	-114.5332	19.53	10/03/2002	16:30:13	0				0
	6	31.04967	-114.7165	17.01	11/03/2002	17:47:40	0				0
2002-05	1	31.35033	-114.3997	19.42	23/05/2002	17:24:26	0				0
	2	31.46667	-114.6497	18.53	24/05/2002	15:41:45	0		25/05/2002	13:39:48	4 0.216
	3	31.08317	-114.6167	19.25	25/05/2002	15:55:47	11	0.571	26/05/2002	18:00:06	1 0.052
	4	31.345	-114.1382	12.62	26/05/2002	22:33:18	0				0
	5	31.45033	-114.4675	22.08	27/05/2002	13:47:59	1	0.045	28/05/2002	19:30:06	3 0.136
	6	31.28433	-114.7178	20.84	28/05/2002	15:02:53	1	0.048	29/05/2002	05:12:24	1 0.048
	7	31.64633	-114.6735	19.61	29/05/2002	15:21:53	0		30/05/2002	06:00:03	1 0.051
	8	31.16717	-114.8008	12.4	30/05/2002	16:55:01	8	0.645	31/03/2002	08:00:09	1 0.081
2003-03	1	31.08417	-114.661	34.67	30/03/2003	09:23:24	12	0.346			0
2003-03	2	31.3015	-114.6633	9.17	01/04/2003	07:54:08	1	0.109			0
2003-03	3	31.05433	-114.7107	16.57	02/04/2003	07:07:37	0				0
2003-03	4	31.05	-114.722	3.12	03/04/2003	16:15:20	2	0.641			0
2003-03	5	31.08383	-114.6662	10.7	04/04/2003	06:04:35	5	0.467			0
2003-10	1	31.10604	-114.64959	1.11	30/10/2003	12:54:45	0				0
2004-04	1	31.0685	-114.7123	3.93	15/04/2004	06:38:36	0				0
	2	31.10767	-114.6207	4.98	15/04/2004	11:26:23	0				0
2005-07	1	31.11419	-114.63336	19.13	11/07/2005	20:01:44	6	0.314			0
	2	30.83538	-114.5202	10.56	15/07/2005	15:11:18	0				0
	3	31.29655	-114.6843	6.17	17/07/2005	13:41:08	0				0
2006-05	1	30.85437	-114.5951	12.07	01/05/2006	21:57:54	0				0
	2	31.11942	-114.6311	25.26	05/05/2006	12:30:41	2	0.079	06/05/2006	14:05:28	1 0.039
2007-02	1	31.12765	-114.6283	12.04	27/02/2007	11:57:52	0				0
	2	31.1193	-114.6481	21.65	01/03/2007	10:34:03	0				0

Continuación Tabla B-2

	3	31.24553	-114.7704	22.82	05/03/2007	10:09:17	0			0
	4	30.86761	-114.6319	10.67	07/03/2007	07:12:43	0			0
	5	31.4771	-114.3145	11.83	07/03/2007	23:04:36	0			0
2007-04	1	31.11207	-114.6303	9.41	20/04/2007	11:12:45	5	0.532		0
	2	31.1097	-114.655	21.54	21/04/2007	08:44:40	3	0.139		0
	3	30.88375	-114.5828	5.62	22/04/2007	10:24:35	0			0
	4	31.31143	-114.7146	23.77	24/04/2007	08:37:53	0			0
	5	31.55625	-114.7343	11.96	25/04/2007	16:31:19	0		26/04/2007 18:00:15	30 2.508
	6	31.55103	-114.5735	11.83	26/04/2007	06:45:21	0		26/04/2007 20:00:08	4 0.338
	7	31.45858	-114.4464	5.53	26/04/2007	20:11:21	0			0

Apéndice C

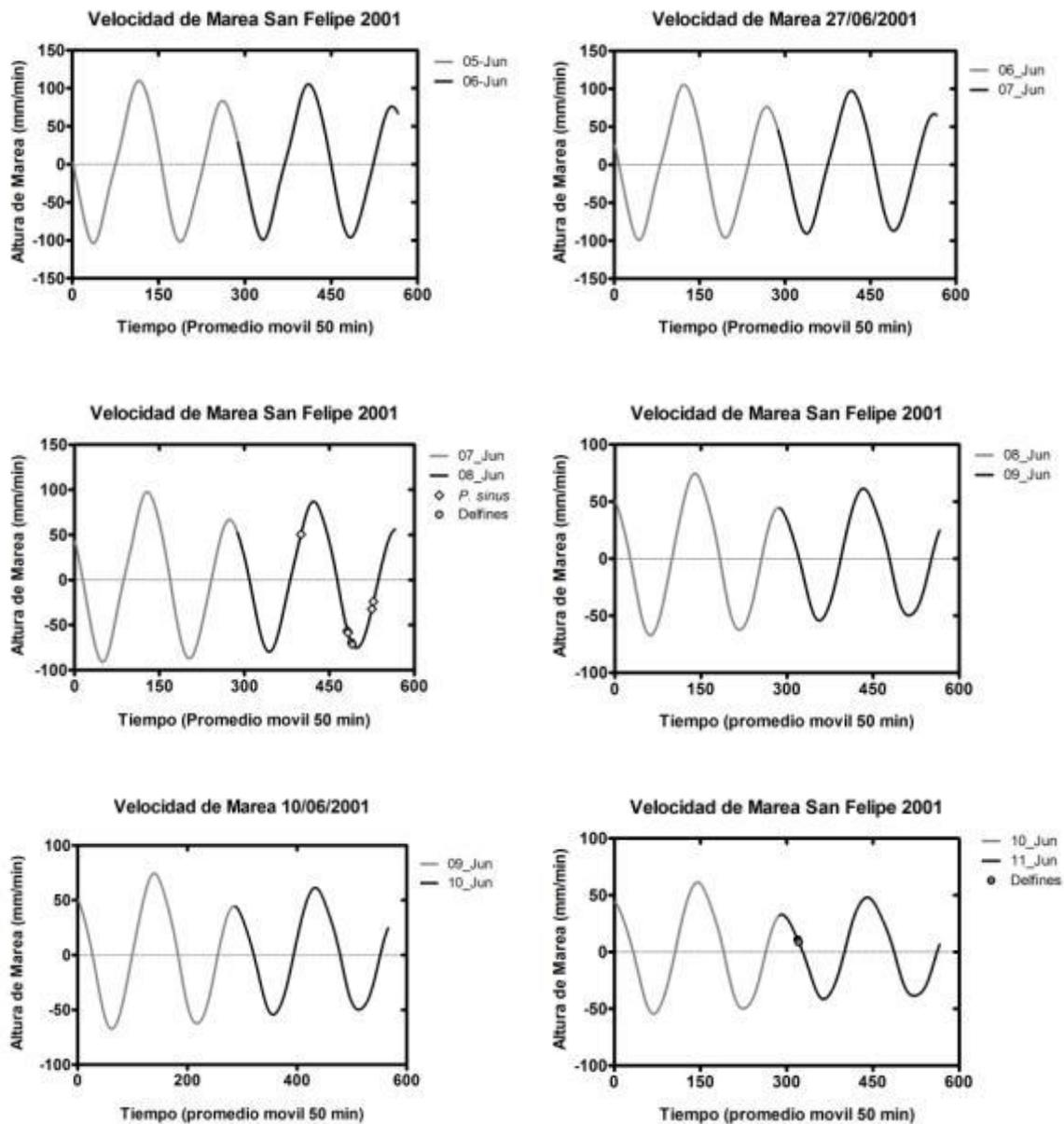
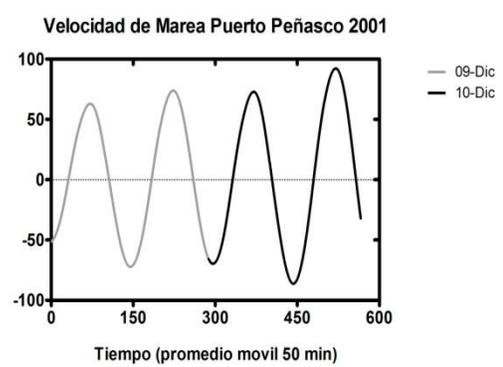
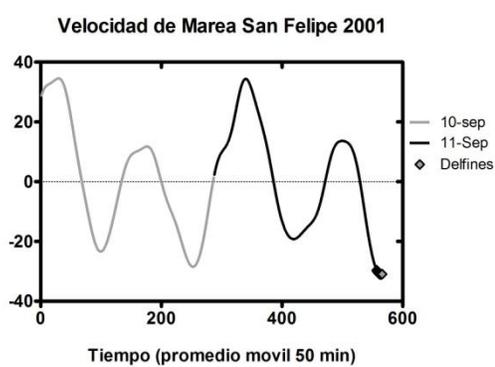
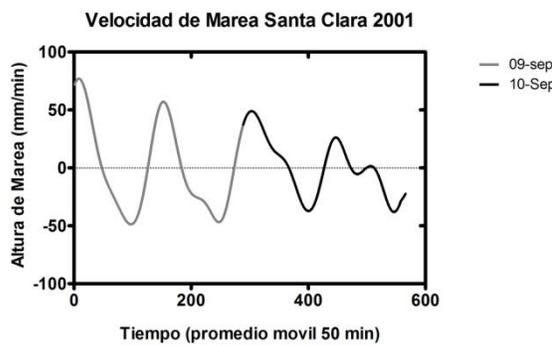
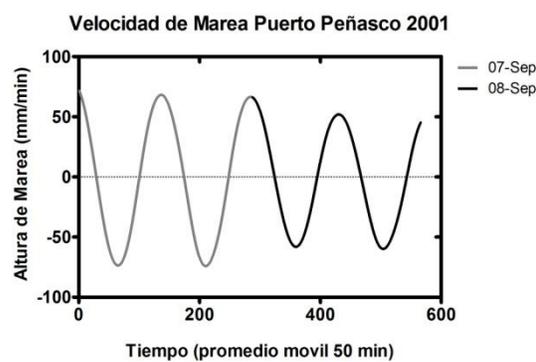
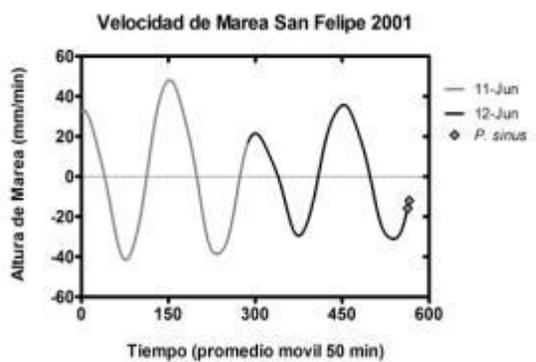
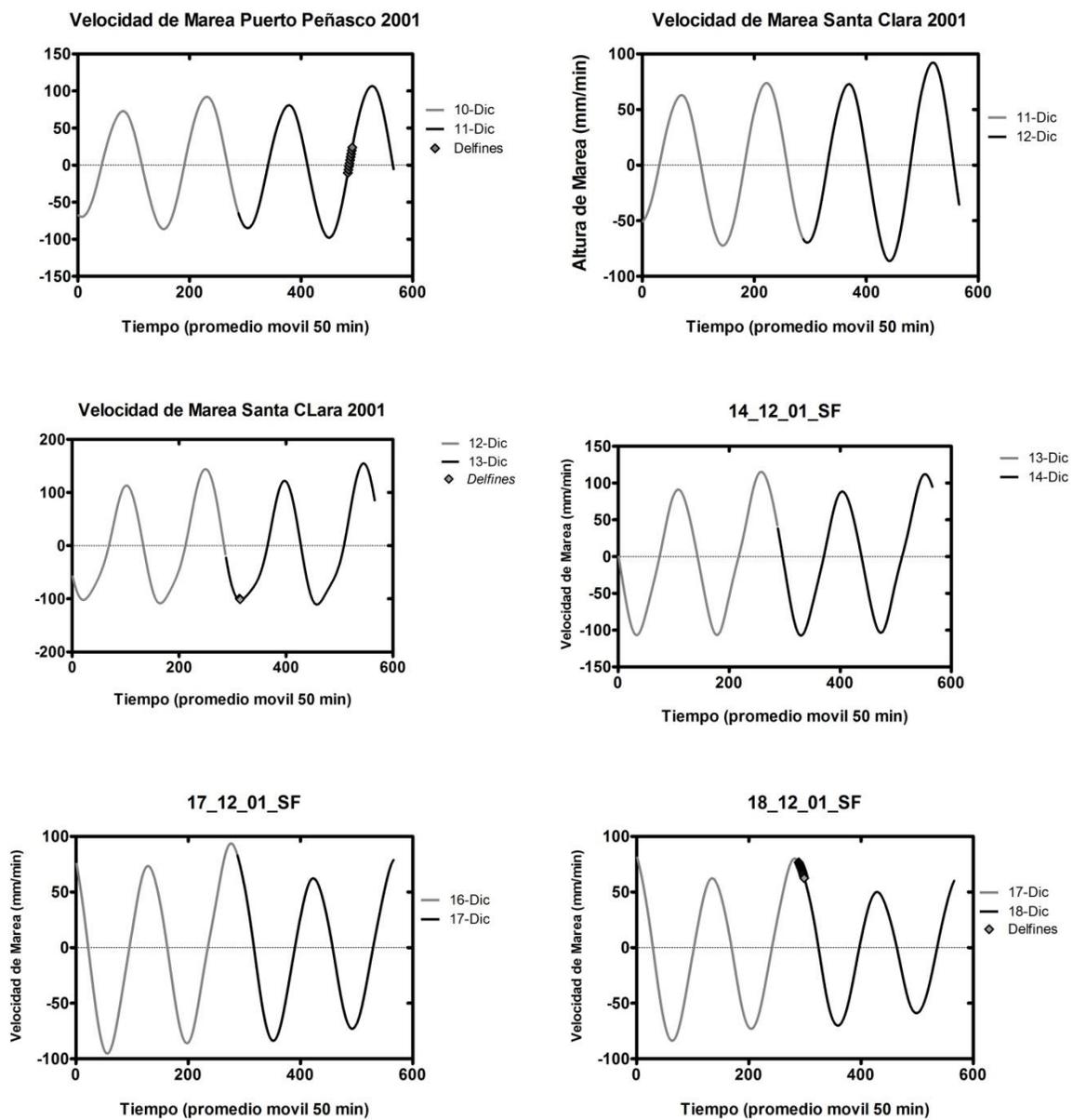


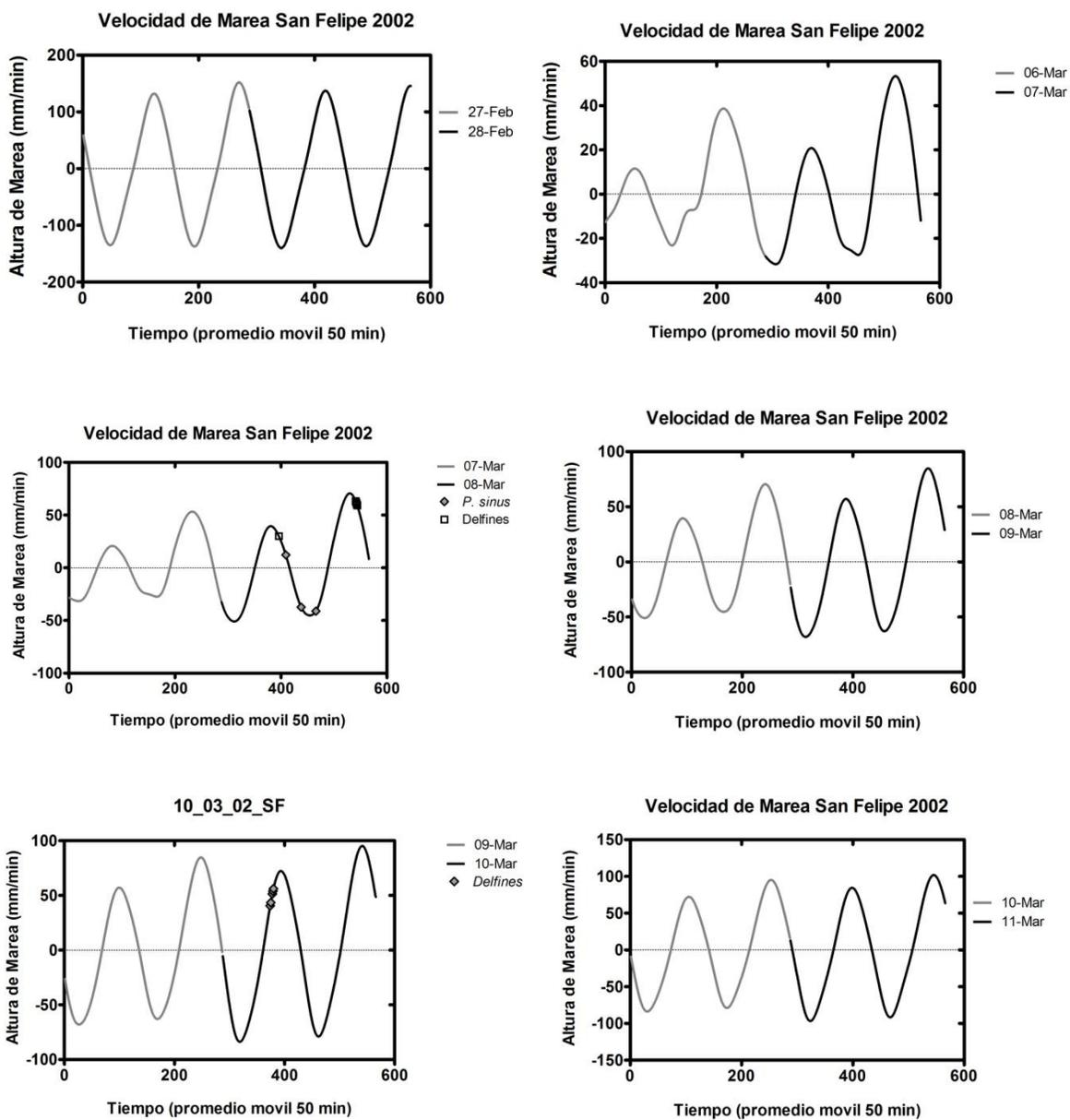
Figura C-1. Componente vertical de la altura de la Marea en cada día de muestreo y la aparición de fonaciones de *Phocoena sinus* y delfines (*Tursiops truncatus* y *Delphinus delphis*).



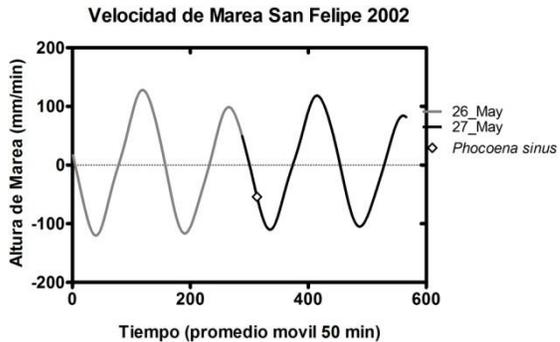
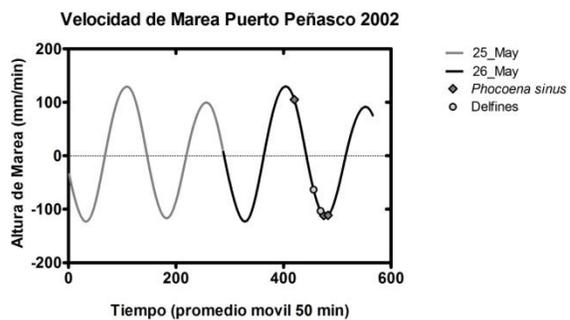
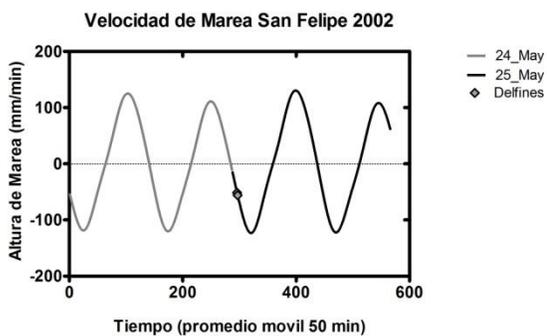
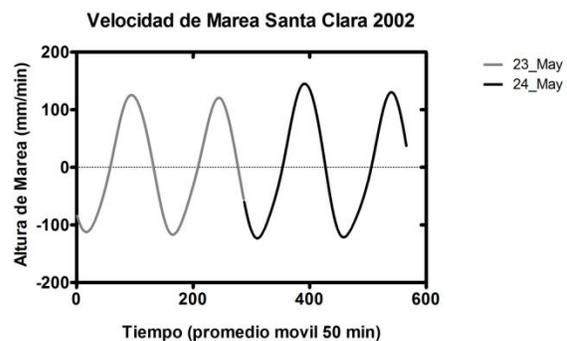
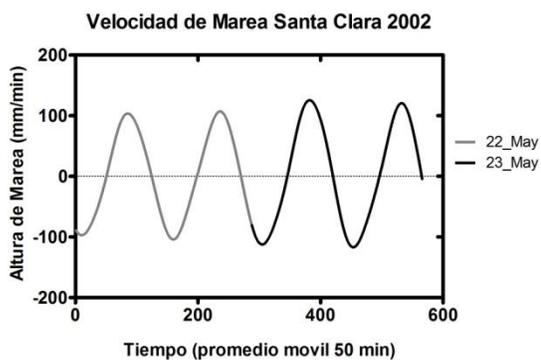
Continuación Figura C-1.



Continuación Figura C-1



Continuación figura C-1



Continuación figura C-1