



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA
DE MÉXICO

FACULTAD DE CIENCIAS

“EL REPERTORIO DE SILBIDOS DE TURSIONES
(*Tursiops truncatus*) DE LA LAGUNA DE
TÉRMINOS, CAMPECHE, MÉXICO”.

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

B I O L O G A

P R E S E N T A :

QUAN KIU RASCON ANA CRISTINA



FACULTAD DE CIENCIAS
UNAM

DIRECTORA DE TESIS: DRA. MARÍA DEL CARMEN BAZÚA DURÁN.

2006



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

• **AGRADECIMIENTOS.**

A mis padres, Ricardo y Ana Cristina, con todo mi amor y respeto.

A mis hermanos, Omar y Ricardo.

A mis abuelos.

A mis amigos, Yaari Brancacho, Miguel Medrano, Mauricio López, Isabel Sarmiento, Martín Sánchez, Karla Ladrón de Guevara, Gabriela y Rosario Romero, Daniela Martínez del Campo.

A todos mis amigos y maestros de la Facultad de Ciencias. A la Universidad Nacional Autónoma de México.

A la Dra. Catalina Stern, Margarita Puente, Lucía Medina, Manuel Alvarado, a todos los miembros del Laboratorio de Acústica, Mauricio, Nina, Paco, Carlos, César, Axel y todos los demás...

A las familias Suárez Olmos y Brancacho Olmos.

A la familia Romero.

A mis sinodales, José Luis Bortolini, Raúl Gío, Erick García, Lucía Medina y Carmen Bazúa.

A Diana Montero, por impulsar el gusto por la biología años atrás.

A los miembros del CCADET, por toda la ayuda que me dieron desde mi servicio social, Silvia Valdez, Leticia Gallegos, Humberto Albornoz y a todos los del departamento de Pedagogía Cognitiva.

A los que ya no están con nosotros...

Este trabajo es para ustedes por su apoyo, por estar conmigo en esta travesía que apenas comienza...

Al Proyecto Fondo mixto CONACYT - Edo. de Campeche por la beca otorgada para la realización de este trabajo.

INDICE.

• AGRADECIMIENTOS.	a
• ÍNDICE.	I
• ÍNDICE DE FIGURAS GRÁFICAS Y TABLAS.	III
• RESUMEN	V
• ABSTRACT	VII
• 1. INTRODUCCIÓN.	1
1.1 Organismo de estudio (<i>Tursiops truncatus</i>).	1
1.1.1 Sistema auditivo de los delfines.	3
1.1.2 Producción de sonidos por los delfines.	7
1.1.3 Utilidad de los sonidos producidos.	8
1.2 Antecedentes.	10
• 2. ÁREA DE ESTUDIO.	16
• 3. OBJETIVOS.	19

• 4. MATERIAL Y MÉTODO.	20
4.1 Trabajo de campo.	20
4.2 Trabajo de laboratorio.	22
4.3 Análisis de datos.	35
• 5. RESULTADOS.	37
5.1 Descripción de parámetros.	38
5.2 Descripción del repertorio.	43
5.3 Comparación con otro estudio.	45
• 6. DISCUSIÓN.	49
6.1 Descripción de parámetros y repertorio	50
6.2 Comparación con otro estudio.	53
• 7. CONCLUSIONES.	59
• 8. LITERATURA CITADA.	63
• GLOSARIO.	72
• INDICE DE FIGURAS, GRÁFICAS Y TABLAS.	

Figura 1 Anatomía externa de <i>Tursiops truncatus</i>	2
Figura 2 Sensibilidad de recepción del sonido en distintos puntos de la cabeza del delfín.	4
Figura 3 Esquema anatómico de la cabeza de un delfín mostrando las estructuras utilizadas para la recepción de sonido.	6
Figura 4 Esquema anatómico tridimensional de los sacos aéreos en la cabeza del delfín.	8
Figura 5 Ubicación geográfica de la Laguna de Términos y los 5 subsistemas lagunares.....	17
Figura 6 Ubicación de las manadas de tursiones en la Laguna de Términos de las que se obtuvieron grabaciones acústica.	21
Figura 7 Procesos consecutivos para la caracterización de los silbidos.....	23
Figura 8 Algunas de las características de los silbidos que fueron medidas.	30
Gráfica 1 Representación de las fonaciones del tursión como espectrogramas	12
Gráfica 2 . Despliegue gráfico del programa Raven utilizadas para obtener algunas de las características de los silbidos.	27
Gráfica 3. Las 6 categorías en que fueron agrupados los contornos de los silbidos.....	29
Gráfica 4 Despliegue gráfico del programa Cool Edit utilizadas para obtener la intensidad promedio del silbido (ancho de banda).	32
Gráfica 5 Despliegue gráfico del programa Cool Edit utilizadas para obtener la intensidad promedio del ruido ambiental.	33

Gráfica 6 Histograma de la relación señal-ruido máxima (RSR max).	38
Gráfica 7 Histograma de la relación señal-ruido mínima (RSR min).	39
Gráfica 8 Promedio, desviación estándar (SD), máximo (Max) y mínimo (Min) para la duración de los silbidos caracterizados.	41
Gráfica 9 Promedio, desviación estándar (SD), máximo y mínimo para la frecuencia fundamental promedio y el ancho de banda para los silbidos caracterizados.	42
Gráfica 10 Porcentajes de ocurrencia de silbidos en las seis categorías.	43
Tabla I Valores descriptivos de los parámetros obtenidos del análisis de los silbidos.	40
Tabla II Comparativo de 4 parámetros por dos estudios: Bazúa Durán (1997) y el presente trabajo.....	46
Tabla III. Porcentajes de ocurrencia de los silbidos por Bazúa Durán (1997) y el presente trabajo para todos los silbidos y los de buena calidad.....	47
Tabla IV Porcentajes de ocurrencia de los silbidos haciendo la reclasificación del repertorio de Bazúa Durán (1997) y el presente trabajo.....	48
Tabla V Porcentajes de ocurrencia de los silbidos agrupados por Bazúa Durán (1997) y la reclasificación por este estudio.....	54

• RESUMEN

En este trabajo se describe el repertorio de silbidos de tursiones de la Laguna de Términos, Campeche, México. Para llevar a cabo esta descripción se realizaron grabaciones acústicas de los delfines durante el año 2004. Posteriormente, se agruparon los silbidos en categorías y se midieron sus parámetros espectro-temporales. Las categorías propuestas en este trabajo consideraron únicamente la forma que presenta el contorno de los silbidos, es decir, contornos ascendente, descendente, múltiple, cóncavo, convexo y de frecuencia constante. Los parámetros espectro-temporales medidos a los contornos de los silbidos fueron su duración, frecuencia fundamental promedio y ancho de banda. Los silbidos fueron de corta duración, a veces imperceptibles al oído humano, y se encontraron dentro del rango audible humano. El repertorio de silbidos de tursiones de la Laguna de Términos estuvo compuesto principalmente por silbidos de contorno ascendente y en segundo lugar por aquellos de contorno múltiple, teniendo una menor cantidad de silbidos descendentes, cóncavos, convexos y constantes. Es posible que los silbidos de los tursiones de esta localidad tengan estas características debido a que estos delfines no tienen la necesidad de producir sonidos muy complejos para comunicarse. Asimismo, se consideró la calidad de los silbidos al medir la relación señal-ruido máxima (RSRmax) para determinar si las características de los silbidos dependían de la calidad de los silbidos. Los silbidos de buena calidad fueron aquellos cuya RSRmax fue de al menos 3 decibeles (dB) y los de mala calidad fueron aquellos que tuvieron un valor menor a 3 dB. Lo que se encontró en este trabajo es que la calidad de los silbidos no fue

un parámetro que determinara las características espectro-temporales y del repertorio de los silbidos. Finalmente, el repertorio de silbidos encontrado en este trabajo difiere enormemente de otro trabajo realizado para los tursiones de la misma zona tanto en las categorías en que fueron agrupados los silbidos como en algunos de los parámetros medidos en este estudio, como lo fueron la frecuencia mínima y máxima y la duración. No se pudieron determinar la(s) causa(s) de estas diferencias y se dan sugerencias a las posibles causas. Las funciones de los silbidos son de comunicación y para el contacto entre los miembros de la manada. Los silbidos tuvieron una ocurrencia muy baja en esta localidad, por lo que puede suponerse que la necesidad de comunicarse por silbidos no es muy alta en esta zona, posiblemente debido a que el tamaño de las manadas fue pequeño. Los comportamientos en manada deben estar asociados a una mayor producción de silbidos, por lo que para llevar a cabo actividades que incluyan a todos los miembros de la manada, la cantidad de silbidos debe aumentar. Las características y producción de silbidos también pueden depender de las características fisicoquímicas y biológicas de la zona.

- **ABSTRACT.**

This work describes the whistle repertoire of bottlenose dolphins of Laguna de Términos, Campeche, México. To achieve this description, acoustic recordings of bottlenose dolphins were made during 2004. Whistles were grouped into categories, and their spectral-temporal parameters were measured. The proposed categories of this work to group whistles only considered the whistle contour, and were: ascending, descending, multiple, concave, convex, and constant. The spectral and temporal parameters of the whistles measured were their duration, mean frequency, and frequency span. Whistles were short, sometimes imperceptible to human hearing, and were within the human audible range. The whistle repertoire of bottlenose dolphins of Laguna de Términos was mainly composed of ascending whistles, and in second place by multiple whistles, with a minor quantity of descending, concave, convex, and constant whistles. It is possible that bottlenose dolphin whistles from this region do not need to produce complex whistles to communicate. In addition, whistle quality as the maximum signal to noise ratio (SNR_{max}) was considered to determine if whistle characteristics were influenced by whistle quality. Good quality whistles were those with a SNR_{max} equal or larger than 3 dB, whereas bad quality ones had a SNR_{max} less than 3 dB. Results show that whistle quality does not determine the spectral, temporal, and repertoire characteristics of whistles. Finally, the whistle repertoire found by this study was very different of that described for bottlenose dolphins from the same area by another work using whistle categories and parameters such as minimum frequency, maximum frequency and duration. The

causes for these differences could not be ascertained, and some suggestions were made. Whistles are for communication and to maintain contact between individuals within a herd. Whistle occurrence was very low in this region possibly because the need to communicate through whistles is not very high due to small herd sizes. Herd behavior should be associated to whistle production so that activities that include all members of a herd should promote a higher whistle production. The characteristics and production of whistles must also be related to the physical, chemical, and biological characteristics of this region.

- **1. INTRODUCCIÓN.**

- **1.1 Organismo de estudio: (*Tursiops truncatus*).**

Tursiops truncatus es un mamífero marino del orden Cetacea y suborden Odontoceti. Es llamado comúnmente tonina, tursión, bufeo o delfín mular. Esta especie es la más conocida de la familia *Delphinidae* debido a que se encuentra primordialmente en cautiverio, habita en todos los océanos del mundo y es sobre la cual se han realizado un mayor número de investigaciones (anatomía, distribución, ecología, comunicación, acústica) (Connor *et al.*, 2000).

T. truncatus es un organismo de talla mediana con variaciones de color que van del gris metálico en la zona dorsal al blanco en la zona ventral. Algunos organismos presentan manchas grisáceas en la zona ventral conforme se acercan a una edad madura. Aparentemente, estas manchas se oscurecen y aumentan en abundancia con la edad después de la maduración sexual; aunque existen individuos que no las desarrollan (Leatherwood *et al.*, 1983).

Estos organismos llegan a tener una longitud entre 175 y 400 cm, con un peso de 150 hasta 650 kg, presentando variaciones regionales (en tamaño y pigmentación) y siendo los machos generalmente más grandes que las hembras. Los animales que habitan regiones frías son los de mayor longitud debido a sus requerimientos térmicos y a una diferencia en su dieta (Wells y Scott, 1999). Las crías al momento de nacer miden de 98 a 126 cm, con un peso de 9 a 11 kg (Harrison y Brayden, 1988).

Las aletas pectorales tienen un tamaño que va de los 30 a los 50 cm, la aleta dorsal es falcada con una longitud promedio de 23 cm y la aleta caudal llega a los 60 cm (Wells y Scott, 1999) (Fig. 1). El género *Tursiops* se puede distinguir por un respiráculo de 8 cm de diámetro y posee de 20 a 28 dientes cónicos en ambos lados de la mandíbula, con un diámetro aproximado de 1 cm (Harrison y Brayden, 1988).

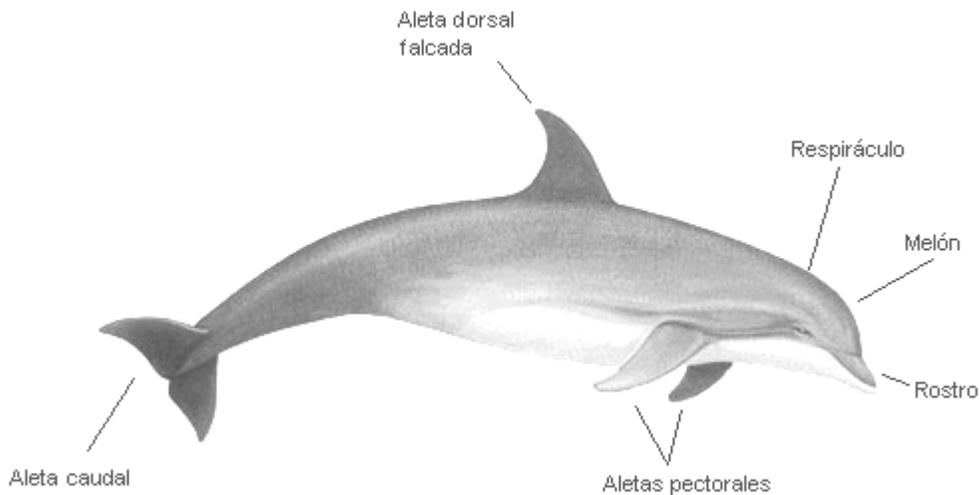


Figura 1.- Anatomía externa del tursiops *Tursiops truncatus* (modificada de Rice, 2002)

El pico de reproducción del tursiops en la Laguna de Términos, así como en otros lugares, es en marzo y abril, aunque existen nacimientos todo el año (Delgado, 2002). El incremento en el número de crías se da en el mes de febrero, al comenzar la temporada de secas. El periodo de gestación es de 12 meses, mientras que el periodo de lactancia va de los 12 a los 18 meses, las crías comienzan a alimentarse de sólidos después de seis meses. El intervalo entre crías hermanas es de dos a tres años. Sin embargo, puede presentarse el caso de gestación al año siguiente

cuando la cría muere, entrando inmediatamente a una etapa de estro (Harrison y Brayden, 1988).

Estos organismos se alimentan de calamares, camarones y peces (Wells y Scott, 1999). Generalmente cazan en grupos para poder agrupar grandes cardúmenes que son atravesados por los delfines en turnos, estos cardúmenes pueden ser llevados hasta la superficie o hacia la orilla de las playas para poder atrapar a las presas más fácilmente (Harrison y Brayden, 1988). En algunos lugares, estos delfines nadan cerca de los barcos camaroneros para poder comer lo que las redes no pueden arrastrar o atrapar los desechos arrojados al mar (Wells y Scott, 1999). Generalmente, consumen de 6 a 7 kg de peces por día (Harrison y Brayden, 1988).

La relación entre madre y cría es muy cercana durante los primeros 5 años de vida, cercanía que se comienza a perder al llegar a la madurez sexual, cuando ya se han desarrollado las técnicas de caza, así como los vínculos sociales dentro de la manada (Connor *et al.*, 2000). Las hembras llegan a la madurez sexual entre los 5 y los 12 años, mientras que los machos la alcanzan entre los 9 y 13 años (Harrison y Brayden, 1988).

1.1.1 Sistema auditivo de los delfines.

La expresión externa del sistema auditivo lo constituye el pabellón auditivo, pina u oreja, que se encarga de la recepción de las ondas sonoras para transmitir las a los oídos medio e interno que las transforman en los impulsos nerviosos que serán recibidos por el cerebro (Randall *et al.*, 1998). En los mamíferos terrestres las orejas

actúan como guías para el sonido (Fig. 2). La transmisión del sonido se realiza por canales llenos de aceites que están en contacto con el hueso timpánico vía una ventana acústica formada por tejidos grasos que recubren la porción posterior de la mandíbula (Fig. 3). Este sistema proporciona direccionalidad hacia el bulbo timpánico para la recepción del sonido y también realiza una preamplificación del sonido análoga a la función de la pina auditiva en los mamíferos terrestres (Vater y Kössl, 2004).

La velocidad de transmisión del sonido depende del medio en que se encuentra el organismo, ya sea aéreo o acuático. En el caso de los mamíferos terrestres, es necesaria una amplificación del sonido para que éste llegue al oído interno. En los odontocetos se da un aumento en la velocidad de las partículas por las vibraciones producidas en los oscículos para que así, el sonido llegue al oído interno (Au, 1993). Actualmente, se desconoce el proceso mediante el cual se incrementa la velocidad de partícula en el oído medio.

El oído medio es el que realiza la mayor parte de la amplificación de las ondas sonoras en los mamíferos terrestres. En los odontocetos está constituido por el hueso timpánico, periótico, complejo martillo-yunque y el estribo, que se encuentran conectados entre ellos vía uniones elásticas. Las conexiones entre el martillo y el yunque son más rígidas, moviéndose conjuntamente (Hemilä *et al.*, 1999). En el oído medio de los delfines hay una unión de grasa que penetra a través de los senos y que procede de la mandíbula, llegando a alcanzar la pared lateral del bulbo llamada túnel o canal del sonido. Este arreglo es el que posiblemente sea responsable del

aumento en la velocidad de partícula (Cockrum, 1962; Zúñiga, 1977). Sin embargo, estudios realizados por Hemilä *et al.* (1999), mostraron que el martillo es indispensable para la audición de los delfines, mediando la señal auditiva proveniente de la placa timpánica a la ventana oval.

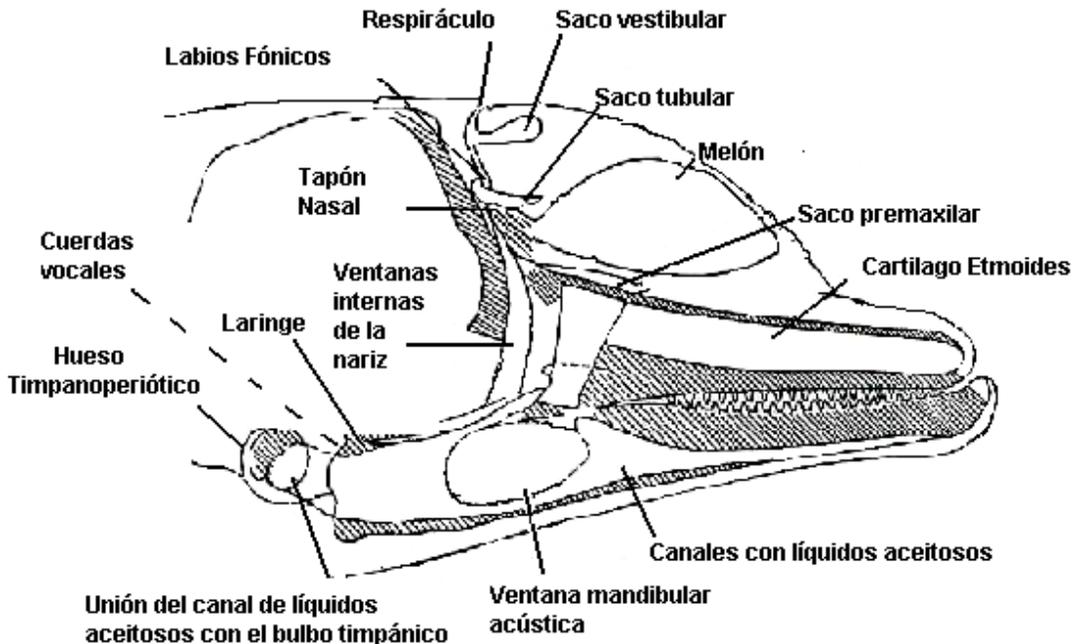


Figura 3.- Esquema anatómico de la cabeza de un delfín mostrando las estructuras utilizadas para la recepción de sonido (mandíbula o maxilar inferior y bulbo timpánico), así como las estructuras para la emisión del sonido (labios fónicos, tapón nasal, sacos aéreos y melón). También se muestran la laringe y las cuerdas vocales (tomada de Au, 2002).

En los delfines, como en los mamíferos terrestres, el oído interno es un laberinto que presenta un vestíbulo y canales semicirculares y cóclea, los cuales se localizan en el bulbo y se unen con el oído medio a través de las ventanas vestibular y coclear (Ridgway, 1990). Las células pilosas en la cóclea del delfín dan eficiencia y especialización para la diferenciación de tonos, mientras que las células

ganglionares permiten un mayor procesamiento de la información auditiva (Au, 1993; Ridgway, 1990).

Los delfines tienen el oído fuera de la caja craneana (Nummela *et al.*, 1999) lo que les permite tener una mayor eficiencia en la recepción del sonido vía la mandíbula inferior. Se tiene una mayor área superficial de recepción (equivalente a la recepción en los mamíferos terrestres que también está limitada al área superficial de la pina) y se tiene una vibración independiente de la caja craneana (Nummela *et al.*, 1999).

1.1.2 Producción de sonidos por los delfines.

Los delfines generan sus fonaciones utilizando los labios internos (labios fónicos) de sus dos canales nasales (Berta y Sumich, 1999) (Fig. 3). Cada canal nasal es independiente, por lo que la producción de sonido puede involucrar el canal derecho para producir pulsos y el canal izquierdo para producir silbidos (Au, 1993). El sistema de sacos nasales, localizado por debajo y por arriba de los labios fónicos, es la estructura encargada de la recirculación del aire (Fig. 3 y 4) y está acoplada al melón que propaga estos sonidos. Histológicamente, el melón es un órgano graso cuyo centro contiene lípidos de baja densidad que ayudan a concentrar los sonidos emitidos para direccionarlos (Fig. 4), formando ondas que son dirigidas hacia la parte anterior del organismo y cuya forma puede variar para lograr un mejor enfoque de los sonidos de acuerdo a la distancia a la que se encuentre el objetivo y a las características del medio (Berta y Sumich, 1999).

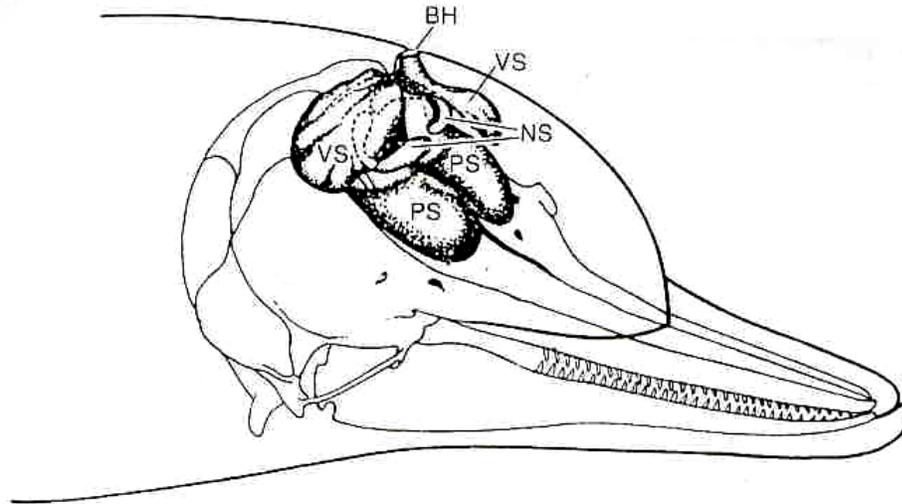


Figura 4.- Esquema anatómico tridimensional de los sacos aéreos en la cabeza del delfín. PS: sacos premaxilares, VS: sacos vestibulares, NS: sacos nasofrontales o tubulares y BH: respiráculo (Tomada de Au, 2002).

1.1.3 Utilidad de los sonidos producidos.

Los mamíferos marinos utilizan dos tipos de comunicación acústica, una de tipo fónica, producida por los mismos individuos, y otra de tipo no fónica, que es aquella generada por los golpes de las aletas, los saltos y otras actividades. Esta última incluye el ruido producido por diferentes partes del cuerpo proyectadas al aire golpeando la superficie del agua (Dudzinski *et al.*, 2002).

Las investigaciones con respecto a la comunicación acústica en tursiones y otras especies de la familia *Delphinidae* se han enfocado mucho más en los silbidos (Dudzinski *et al.*, 2002) porque éstos son sonidos que se encuentran dentro del rango audible humano y son sonidos relativamente fáciles de analizar. Además, los silbidos son producidos por la mayoría de las especies de delfines y aparentemente

no poseen otra función mas que la de promover la comunicación entre individuos. También tienen como característica el ser de frecuencia modulada para posiblemente evitar distorsiones producidas por las frecuencias bajas del ruido ambiental (Dudzinski *et al.*, 2002).

Los silbidos viajan distancias mayores comparados con los pulsos explosivos y, aunque son menos direccionales que los pulsos, seguramente pueden ser localizados más fácilmente por otros individuos. El tursión y las demás especies de delfines que producen silbidos, como ya se mencionó, tienen la capacidad de producir silbidos y pulsos de manera simultánea (Au, 1993). Así, los silbidos probablemente proveen un vehículo potencial para el mantenimiento de la comunicación acústica y la coordinación durante la búsqueda de alimento por ecolocalización (Dudzinski *et al.*, 2002). También pueden ser útiles para la identificación de individuos y/o asociaciones familiares, proporcionando un mecanismo mediante el cual se pueda realizar la reunión de individuos dispersos y la coordinación espacial (Janik y Slater, 1998), sobretodo durante el movimiento de individuos a diferentes velocidades que realizan traslados muy rápidos y cuando las manadas están alimentándose (Dudzinski *et al.*, 2002).

- **1.2 Antecedentes.**

El sonido viaja 4.5 veces más rápido y con mayor atenuación en un medio acuático que en un medio aéreo, debido a que la transmisión de las señales acústicas en el agua varía dependiendo de los factores fisicoquímicos y biológicos, como son: la temperatura, salinidad, turbidez, profundidad, ruido ambiental, topografía y vegetación (Anderson, 1969; Herman, 1980).

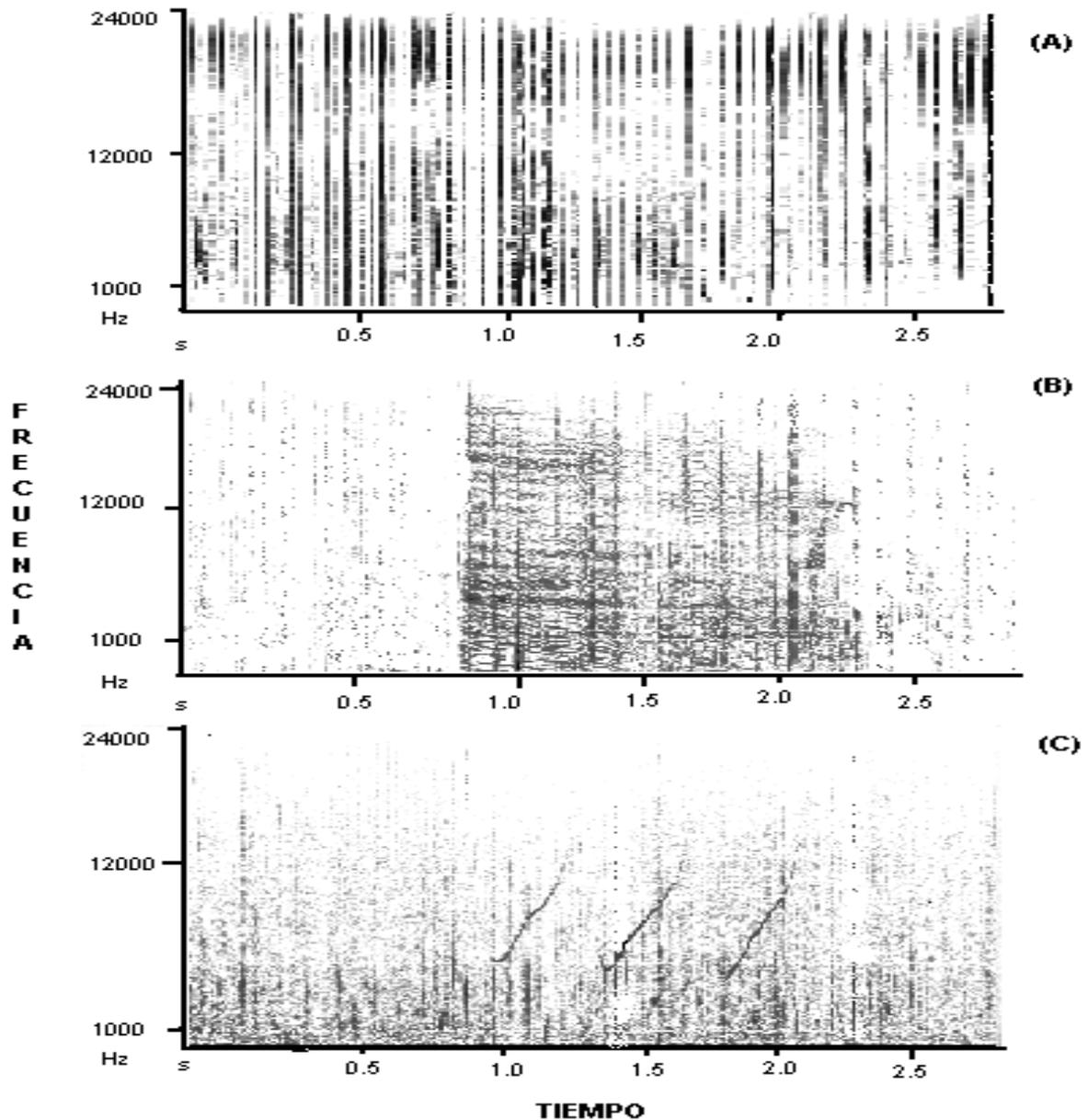
Estudios realizados en odontocetos por Norris *et al.* (1971) utilizando rayos X comprobaron que, para la producción de sonidos, el movimiento del aire se realizaba en la parte superior de los canales nasales y observaron la ausencia de movimiento de la laringe y cuerdas vocales durante la producción de fonaciones pero sí de las estructuras en la parte delantera del aparato nasal, sin especificar un sitio en particular. Posteriormente, Cranford (1997) utilizó grabaciones de súper video simultáneas a la grabación sonora y encontró que la vibración de los labios fónicos ocurría simultáneamente a la producción de sonido.

El comportamiento social de los animales se organiza de acuerdo a patrones que permitan llevar a cabo las actividades propias de cada especie y se realiza mediante el intercambio de información intra e interespecífica y el ambiente (Randall *et al.*, 1998). Bradbury y Vehrencamp (1998) definieron comunicación como la provisión de información por medio de señales por parte de un emisor a un receptor con el consecuente uso de la información al decidir como utilizarla. La señal es el vehículo mediante el cual el emisor y el receptor intercambian información, promoviendo la cohesión del grupo (Vauclair, 1996). Para entender la comunicación en una especie

determinada, es importante conocer el tipo de señales y despliegues que se realizan (visuales, auditivas, táctiles, gustativas y olfatorias (Reynolds y Rommel, 1999).

Las fonaciones producidas por los odontocetos pueden ser divididas en dos tipos: los pulsos o chasquidos y los sonidos de frecuencia modulada o silbidos (Gráfica 1). Los **pulsos** son sonidos de corta duración y alta frecuencia (más de 200 kHz) emitidos de manera continua o en trenes (Au, 1993). Estos pulsos se pueden dividir en dos subcategorías de acuerdo al tiempo entre los pulsos dentro de un tren: los chasquidos utilizados para la ecolocalización (orientación y discriminación de objetos para encontrar alimento) (Gráfica 1A), que son de espectro amplio en el caso del tursión o de espectro reducido en el narval (*Monodon monocerus*) (Frankel, 2002), y los pulsos explosivos, varias veces descritos como graznidos, ladridos y chillidos, y que posiblemente son utilizados para la identificación individual, alimentación y contacto entre los miembros de una manada (Gráfica 1B) (Caldwell *et al.*, 1990).

Los **silbidos** son sonidos de duración más larga y de frecuencia modulada (Gráfica 1C). El intervalo de producción entre silbidos también es de larga duración. Cada uno de los silbidos tiende a durar no más de 1 ó 2 segundos y raramente se llegan a producir silbidos de más de 3 segundos (Bazúa-Durán y Au, 2002). Los silbidos tienen como característica fundamental contener frecuencias de menos de 20 kHz (Bazúa-Durán, 2004) y armónicos que probablemente no lleguen a más de 80 kHz (C. Bazúa Durán, comun. pers.). Los silbidos comparten una pequeña parte del intervalo de frecuencias dentro del cual también son producidos los pulsos (Frankel, 2002).



Gráfica 1.- Representación de las fonaciones del tursi3n como espectrogramas: (A) tren de chasquidos de ecolocalizaci3n, (B) pulsos explosivos y (C) contornos de silbidos.

La producci3n de silbidos puede ser desencadenada por diferentes situaciones, por ejemplo, como una reacci3n a la producci3n de silbidos por otro animal (Tyack, 1986). La imitaci3n de silbidos o de sonidos artificiales revela plasticidad en el sistema de producci3n de sonidos. Tambi3n se ha observado una correlaci3n en la

producción de silbidos y la alimentación, tanto en tursiones en cautiverio como en organismos silvestres (Herman, 1980).

Se han realizado varios intentos para establecer el repertorio de silbidos de los delfines tanto en cautiverio como silvestres (Dudzinski *et al.*, 2002). Sin embargo, existen problemas para realizar la clasificación, ya que los contornos de los silbidos son muy variables. El tamaño del repertorio acústico, incluyendo tanto silbidos como pulsos, está probablemente limitado a no más de 40 sonidos catalogados como discretos (Tyack, 1986; Smolker *et al.*, 1993; Dudzinski *et al.*, 2002). Se conoce más acerca del repertorio de los silbidos debido a que son las fonaciones más estudiadas de *Tursiops* spp. en estudios realizados con tursiones en cautiverio (Janik *et al.*, 1994).

McCowan *et al.* (1998) propusieron dos modelos para determinar el repertorio de silbidos de esta especie. El primero, la **hipótesis del silbido firma**, propone que un contorno de silbido es característico de cada individuo y equivale entre el 70% y 95% del repertorio de silbidos de un delfín (el cual ha sido utilizado para explicar la variabilidad acústica observada entre individuos). El segundo modelo, el del **repertorio de silbidos**, propone que el delfín posee un repertorio más amplio, con tipos de silbidos compartidos utilizados dentro de un solo o en diferentes grupos y que se produce un tipo de silbido predominante que no es el individual o firma.

El tursión produce silbidos con contornos específicos, los cuales se denominan “silbidos firma” (Caldwell *et al.*, 1990). Éstos se han estudiado intensivamente en años recientes, sin embargo, se desconoce el porcentaje que representan dentro del

repertorio de silbidos de un delfín. Lo que sí se sabe es que este silbido es producido solamente en situaciones de aislamiento (Janik y Slater, 1998) y que es específico para cada individuo (Caldwell *et al.*, 1990). Así, este tipo de silbido ciertamente es utilizado para el reconocimiento individual (Caldwell *et al.*, 1990), pero aparentemente sólo es utilizado en ciertos contextos sociales (Janik y Slater, 1998), ya que un delfín puede imitar el silbido firma de otro animal para el establecimiento del contacto social (Tyack, 1986).

Por ello, se ha sugerido que este silbido es utilizado para el reconocimiento individual en condiciones silvestres, tanto para poder entender el aprendizaje del repertorio, como para mantener las relaciones sociales (Sayigh *et al.*, 1998). Este reconocimiento del silbido firma puede ser importante para evitar la endogamia (Frankel, 2002).

Estudios sobre el repertorio de crías y adultos en cautiverio demostraron que un solo individuo puede producir una gran variedad de contornos de silbidos cuando existen interacciones de tipo social, indicando que el silbido firma juega un papel menos importante en el repertorio acústico del delfín (Reiss *et al.*, 1997). Durante las etapas iniciales del aprendizaje del repertorio acústico, especialmente en los primeros meses de vida, el delfín reproduce principalmente las partes iniciales y finales del silbido. Ésto provee evidencia del efecto en la memoria auditiva de esta especie al corto plazo (Janik, 2000). Esta etapa inicial puede ser interpretada como un tipo de juego acústico, práctica o balbuceo, así como ha sido descrita para las etapas iniciales del desarrollo del lenguaje en humanos (Reiss *et al.*, 1997; Hauser y Marler, 1992). Los delfines jóvenes muestran otras etapas en el aprendizaje y desarrollo del

repertorio de silbidos, tales como la excesiva producción de éstos durante el juego o el contacto físico, comportamientos que solamente habían sido descritos para humanos y algunas especies de aves (Hauser y Marler, 1992).

Reiss *et al.* (1997) realizaron estudios con delfines en cautiverio mostrando que existen diferencias en los contornos de los silbidos que se producen, así como variaciones acústicas en los silbidos de los diferentes grupos de delfines. En el caso de los delfines silvestres, también se presentan diferencias en los contornos de los silbidos (Wang Ding *et al.*, 1995). Las diferencias en el repertorio de silbidos y los distintos dialectos se dan principalmente por las variaciones en el hábitat en que se encuentran las manadas (Bazúa Durán, 1997), así como de sus distintos hábitos (Wang Ding *et al.*, 1995).

Como la estructura del repertorio de silbidos no está definida del todo, además de que pueden existir variaciones en el repertorio de una misma especie, en el presente estudio se categorizaron los silbidos de acuerdo a la forma de su contorno, se extrajeron parámetros espectro-temporales de los silbidos y se les determinó su calidad, tratando de explicar las posibles causas biológicas de los resultados encontrados.

• 2. ÁREA DE ESTUDIO.

El sistema lagunar de la Laguna de Términos se encuentra entre los 91°00' y 92°20' W y los 18°20' y 19°00' N (Fig. 5), con una profundidad promedio de 3.5 m (Yáñez-Arancibia *et al.*, 1988). Incluyendo los pantanos y los sistemas fluvio-lagunares, su superficie asciende a 2500 km²; su cuenca principal tiene una extensión de 1700 km², aproximadamente 70 km de largo por 30 km de ancho (Yáñez-Arancibia *et al.*, 1988; Gutiérrez y Castro, 1988). Cuenta con llanuras pantanosas de marea y con dos canales profundos, cada uno en la porción oriental de sus dos bocas, El Carmen y Puerto Real, situadas en los extremos occidental y oriental de la Isla del Carmen, respectivamente (Yáñez-Arancibia *et al.*, 1988; Gutiérrez y Castro, 1988). La Isla del Carmen es una barrera de 38 km de longitud que aísla a la Laguna de Términos del Golfo de México (Yáñez-Arancibia *et al.*, 1988).

El clima de esta zona es principalmente tropical con una intensa precipitación pluvial (entre 1200 y 2000 mm anuales), siendo la temperatura media anual de 27.7°C. La precipitación tiene valores máximos en los meses de junio a octubre (temporada de lluvias) y mínimos de marzo a abril (temporada de secas). La direccionalidad de los vientos varía entre el NE y SE, principalmente. En los meses invernales, de noviembre a febrero (temporada de nortes), hay tormentas ocasionales y, con el desplazamiento de las masas de aire frío, se generan fuertes vientos denominados “nortes” (Gutiérrez y Castro, 1988).

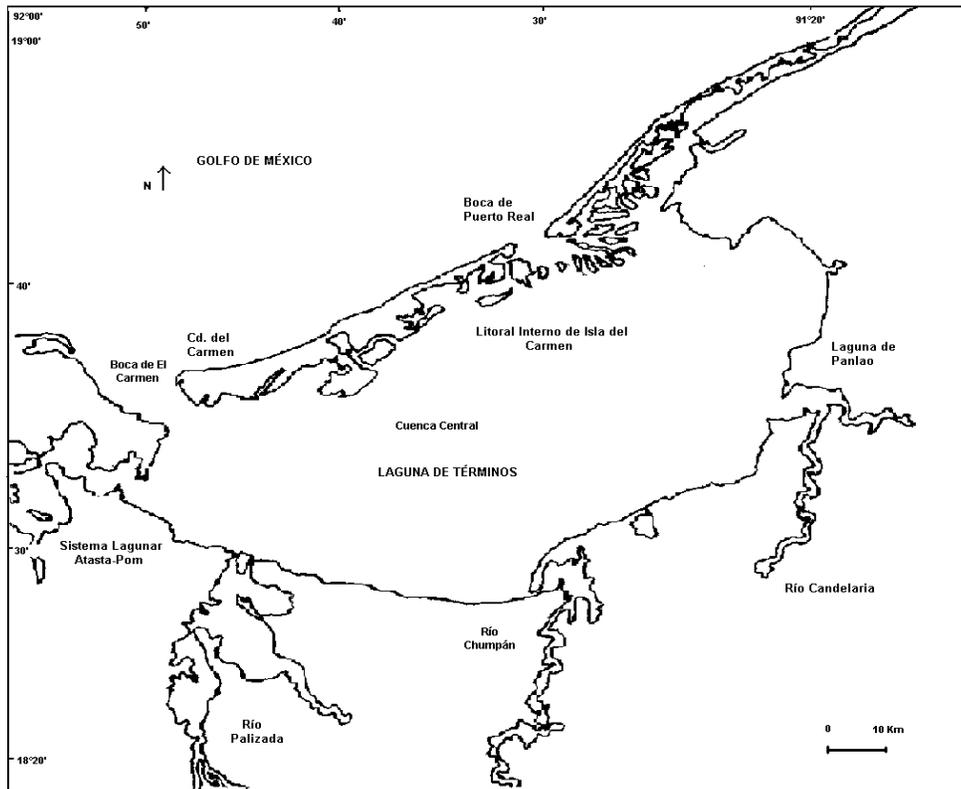


Figura 5.- Ubicación geográfica de la Laguna de Términos y los 5 subsistemas lagunares de la zona de acuerdo a Yáñez-Arancibia y Day (1982) y Yáñez-Arancibia *et al.* (1983): Boca de Puerto Real, Boca de El Carmen, Litoral Interno de Isla del Carmen, Cuenca Central y Sistemas Fluvio-Lagunares (Sistema Lagunar Atasta-Pom, Río Palizada, Río Chumpán y Río Candelaria).

De acuerdo a Yáñez-Arancibia y Day (1982) y Yáñez-Arancibia *et al.* (1983), se pueden diferenciar 5 subsistemas dentro de la Laguna según el tipo de sedimento y el gradiente de salinidad presentes (Fig. 5):

1.- Boca de Puerto Real.- Subsistema predominantemente marino, con alta salinidad. El sustrato es de arena fina y limo arcilla con un alto contenido orgánico.

2.- Litoral Interno de la Isla del Carmen.- Tiene una gran influencia marina, con aguas de gran transparencia y salinidad. El sustrato está compuesto por arenas de transición y carbonato de calcio, entre otras.

3.- Sistemas Fluvio-Lagunares.- Es la porción sur de la laguna que se caracteriza por una gran influencia de agua dulce de los sistemas fluvio-lagunares adyacentes (Sistema Lagunar Atasta-Pom, Río Candelaria, Río Chumpán y Río Palizada). El sedimento está compuesto de lodo arcilloso con arenas finas y carbonato de calcio.

4.- Cuenca Central.- Se considera un área de transición entre las condiciones marinas de la sección norte y las salobres de la zona sur. El sedimento es principalmente carbonato de calcio. Esta zona se considera como la más estable de la laguna.

5.- Boca de El Carmen.- Influenciada por los aportes de agua dulce que desembocan en el interior de la Laguna de Términos, es un ambiente estuarino permanente. Los sedimentos son principalmente de origen terrígeno.

La fauna se caracteriza por bancos de ostión (*Crassostrea virginica* y *C. rhizophora*), almejas (*Rangia* spp., *Polymesoda caroliniana*), caracoles (*Pleuroploca gigantea*), cangrejo azul (*Callinectes sapidus*), camarón (*Farfantepenaeus aztecus* y *Xiphopenaus kroyeri*), botete (*Spherooides testudineus*), mojarrita (*Eucinostomus gula*), bagre (*Arius* spp.), ronco o pargo (*Orthopristis chrysoptera*), corvina (*Bairdiella chrysoura*) y posta (*Archosagrus rhomboidalis*), entre otras especies (Yáñez-Arancibia y Day, 1982). Dentro de los grupos de mamíferos marinos solamente se pueden encontrar al tursión, *Tursiops truncatus* (Delgado Estrella, 1991, 2002).

• 3. OBJETIVOS.

- *Objetivo General.*

- 1) Caracterizar el repertorio de silbidos de los tursiones que habitan la Laguna de Términos, Campeche, México.

- *Objetivos Particulares.*

- 2) Determinar las características espectrales y temporales de los silbidos de los tursiones de la Laguna de Términos, Campeche, México.
- 3) Determinar el repertorio de los contornos de los silbidos de los tursiones que habitan la Laguna de Términos, Campeche, México.
- 4) Determinar la calidad los silbidos de los tursiones de la Laguna de Términos, Campeche, México (calidad medida como una relación señal-ruido [RSR] mayor o menor a 3 dB).
- 5) Comprobar si existe una diferencia en el repertorio y características de los silbidos al considerar la calidad de estos sonidos.
- 6) Comparar las diferencias y semejanzas en los resultados obtenidos por este estudio con aquellos encontrados por otros autores en la misma área de estudio, así como sus probables causas.

- **4. MATERIAL Y MÉTODO.**

- **4.1 Trabajo de campo.**

El trabajo de campo consistió en la grabación de las fonaciones de los tursiones que habitan la Laguna de Términos, Campeche, México durante 36 días comprendidos entre el 29 de enero y el 6 de noviembre de 2004, incluyendo las tres temporadas climáticas de la Laguna: temporada de nortes (7 días a finales del mes de enero y principios del mes de febrero; 10 días a finales del mes de octubre y los primeros 6 días del mes de noviembre), temporada de lluvias (9 días en el mes de julio) y temporada de secas (5 días en el mes de abril y 5 días en el mes de mayo). Los muestreos fueron realizados a bordo de embarcaciones menores con una eslora de 7 m y con motor fuera de borda de 60 caballos de fuerza (HP).

Se grabaron 1,814 delfines en 109 manadas (Fig. 6). El total de delfines grabados se obtuvo al contabilizar el número total de delfines que formaban cada manada, sin importar si los individuos de la manada ya habían sido grabados previamente en otro avistamiento. Es decir, cada manada se contabilizó como una manada nueva aunque contuviera en su totalidad o en parte los mismos individuos.

El sistema de grabación acústica consistió de un hidrófono omnidireccional sumergido aproximadamente 1 m (-194 ± 2 dB re 1 V/ μ Pa, modelo ST100 fabricado por Don Norris) y conectado a una grabadora digital de cinta (DAT, por sus siglas en inglés; marca Sony, modelo TCD-D100) que grabó a una tasa de muestreo de 48 kHz y 16 bits de resolución.

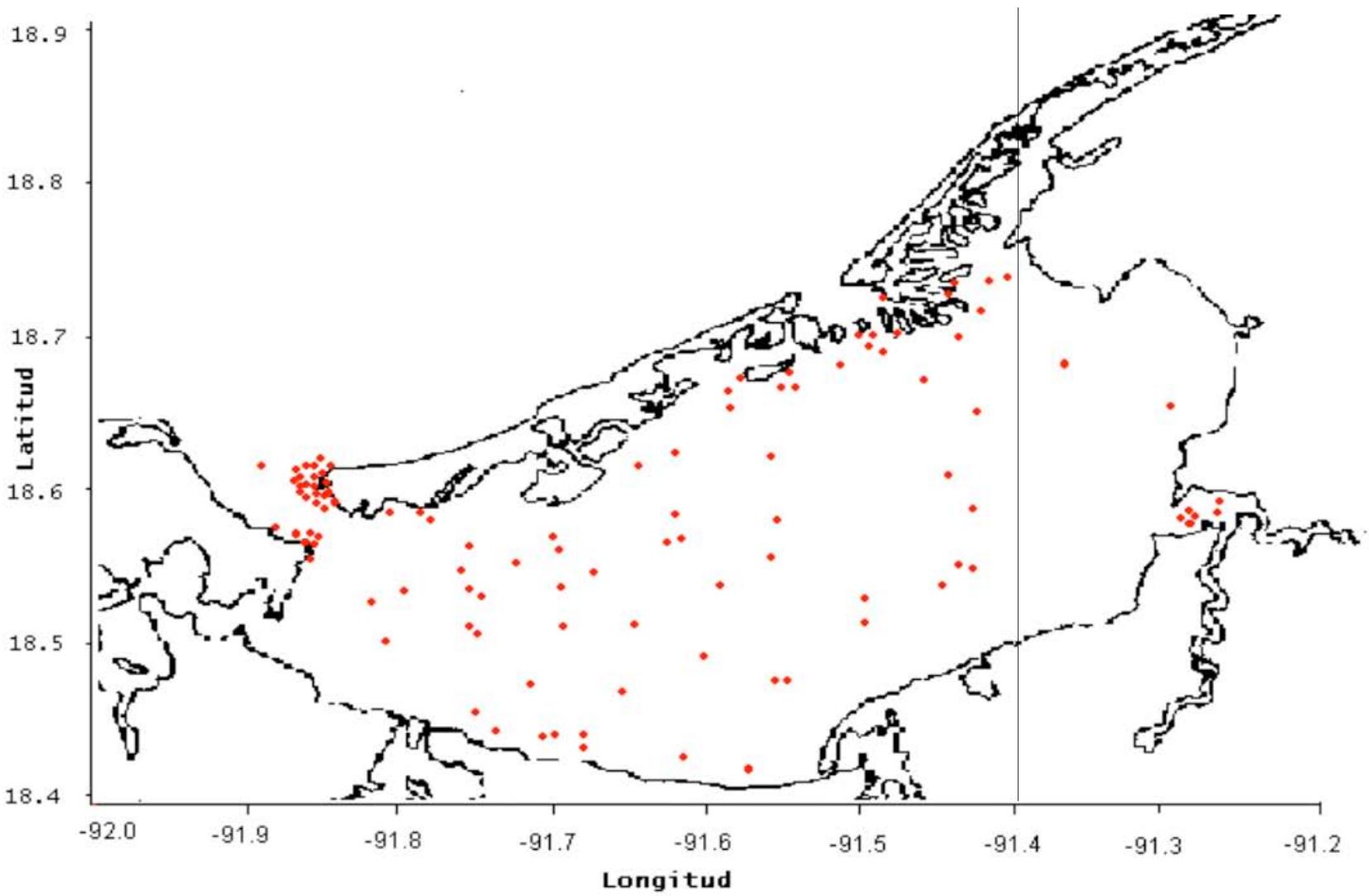


Figura 6.- Ubicación de las manadas de tursiones en la Laguna de Términos de las que se obtuvieron grabaciones acústica

Con este sistema de grabación se tiene un ancho de banda de 0 a 24 kHz y un intervalo dinámico entre 87 y 90 dB. Se utilizó un adaptador divisor que separó los canales (en estéreo) a un canal “izquierdo” y uno “derecho” y se alimentó la salida del hidrófono a la entrada MIC/LINE IN, seleccionando la entrada en el modo MIC para tener una amplificación de aproximadamente 50 dB y la atenuación del MIC ATT en 0 dB para evitar la atenuación de 20 dB.

Cuando existía la presencia de delfines se sumergía el hidrófono y se registraba en la bitácora la hora de inicio de la grabación, el contador “A-Time” y ganancia de la grabadora DAT. Los silbidos fueron grabados cuando el motor de la embarcación se encontraba apagado y ésta a la deriva. Cuando la manada se encontraba muy alejada, a más de 400 metros de la embarcación, se detenía la grabación y se reposicionaba la embarcación más cerca de los delfines. La embarcación se colocaba al frente o a un lado de la manada dependiendo del comportamiento de los delfines y de la posición previa de la embarcación con respecto a la posición de la manada.

A partir de estas grabaciones se realizó el análisis posterior en el Laboratorio de Acústica del Departamento de Física de la Facultad de Ciencias de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM).

• **4.2 Trabajo de laboratorio.**

La caracterización de los silbidos se realizó mediante una serie de procesos consecutivos como lo muestra la figura 7 y que se explican a continuación.

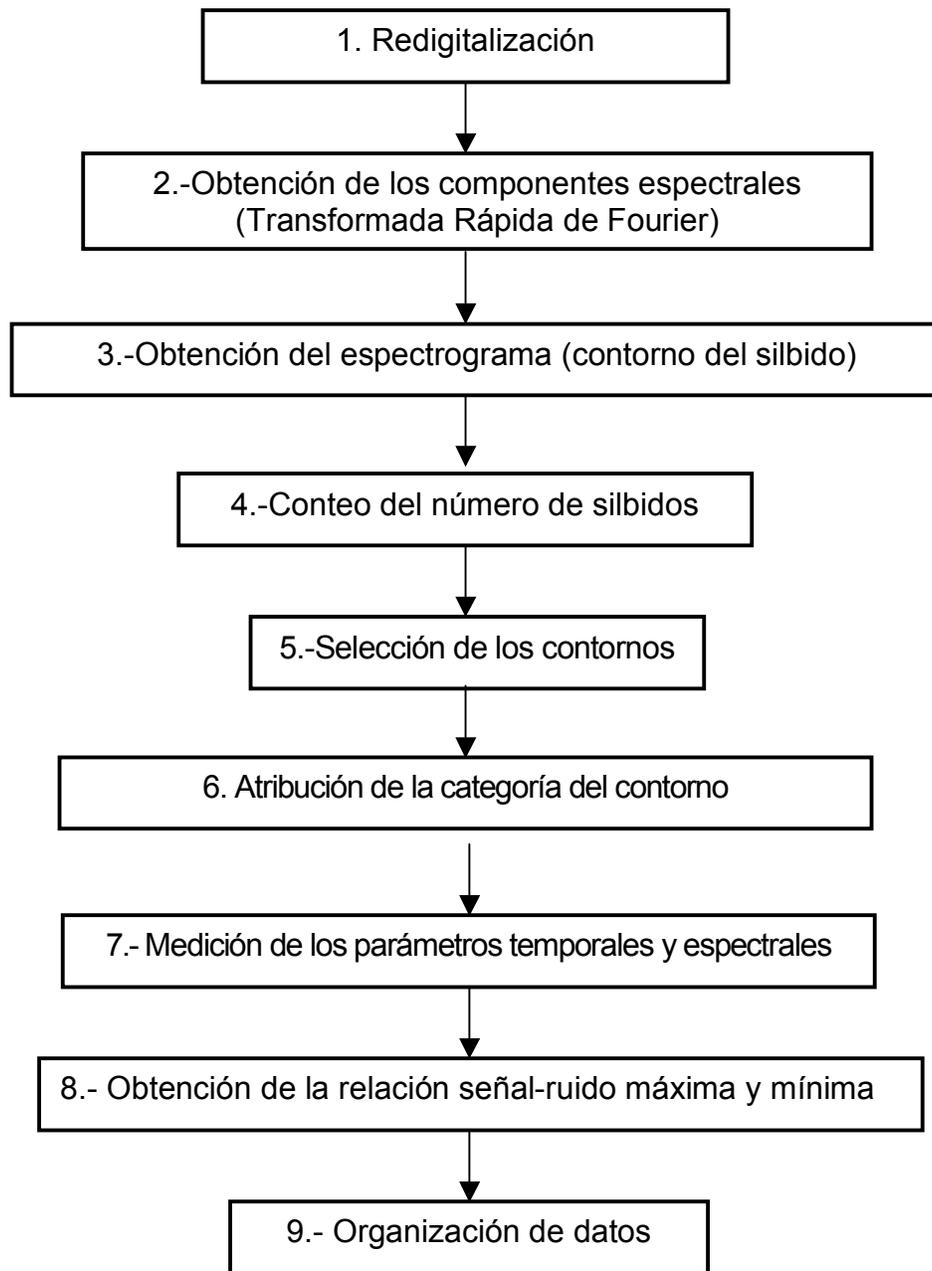


Figura 7.- Procesos consecutivos realizados para la caracterización de los silbidos.

1.- *Redigitalización*.- En el laboratorio se redigitalizaron las grabaciones a una tasa de muestreo de 48 kHz y 16 bits para ser almacenadas como archivos de sonido (archivos con extensión .wav) utilizando como nombre del archivo el número de cinta y hora en que fue realizada la grabación, especificando la fecha y número de avistamiento con carpetas (e. g., para una grabación realizada el 15-abril-2004 para

el avistamiento 1 a las 09:02:04 se creó una carpeta del 15-abril-2004 y del avistamiento 1 donde se grabó el archivo LT06-090204).

2.- *Componentes Espectrales.*- Para la extracción de los componentes espectrales de los sonidos, es decir, el contorno de los silbidos, se utilizó la Transformada Rápida de Fourier (FFT, por sus siglas en inglés) la cual transforma la señal del dominio de tiempo al dominio de la frecuencia. La FFT se calculó utilizando el programa de cómputo Cool Edit 96 utilizando una ventana Hamming de 512 puntos con un traslape del 50% para obtener el espectrograma de la señal.

3.- *Espectrograma.*- El espectrograma es una representación visual de las variaciones de la frecuencia (en el eje vertical) a lo largo del tiempo (en el eje horizontal) y que describe la intensidad del sonido al representarla mediante tonos de colores o grises. El espectrograma representa la información en tiempo-frecuencia de las fonaciones, es decir, el contorno de los silbidos.

4.- *Conteo de silbidos.*- El número de silbidos en cada una de las grabaciones se determinó utilizando el espectrograma de cada archivo y ubicando cada uno de los contornos de los silbidos a lo largo de la grabación (Gráfica 1c). Únicamente se consideraron los silbidos que no estaban traslapados con otros silbidos. Para considerar dos silbidos no traslapados como dos contornos diferentes se utilizó el siguiente criterio (Bazúa-Durán y Au, 2002):

- a) La separación temporal entre ellos debía ser mayor de 100 ms.

- b) Si la separación era menor a 100 ms pero era mayor a la duración de los silbidos.
- c) Si la separación era menor a 100 ms y la diferencia entre la frecuencia de los puntos final del primer silbido y el inicial del segundo silbido era mayor a 3 kHz.
- d) Si la separación era menor a 100 ms y un silbido era el doble de intenso que el vecino inmediato.

5.- *Selección de contornos.*- Una vez contados los silbidos, se procedió a analizar a cada uno de ellos separándolos individualmente en archivos, tomando un segundo del ruido ambiental antes del inicio del contorno y un segundo posterior a que éste finalizara. En caso de que existiera más de un silbido en un tiempo muy corto, se agrupaban en el mismo archivo todos los silbidos.

Para que un silbido fuera analizado debía tener una buena relación señal-ruido, el contorno debía ser claro, especialmente en los puntos inicial y final, y no debía existir un corte evidente tanto en el intervalo de frecuencias como en la duración del contorno ocasionado por el sistema de grabación. Cuando existían silbidos traslapados, no se tomaron en cuenta para ser analizados, ya que debía existir al menos una separación de 100 ms entre ellos.

De esta forma, con los silbidos aislados en archivos independientes, se inició el análisis detallado de éstos para obtener las diferentes características de los silbidos, tales como: categoría, tiempo inicial, tiempo final, duración, frecuencia

mínima, frecuencia máxima, ancho de banda, intensidad promedio del silbido, intensidad promedio del ruido ambiental y relación señal ruido máxima y mínima (RSR max y RSR min, respectivamente).

Para realizar el análisis detallado de los silbidos se utilizaron dos programas de cómputo:

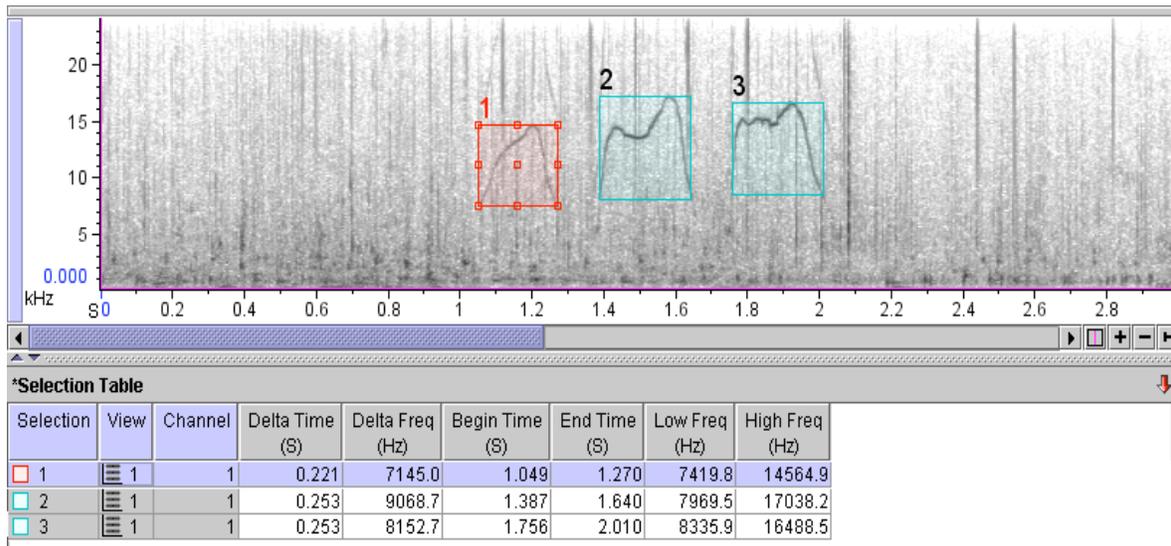
1) *Raven versión 1.2.1 (Cornell Laboratory of Ornithology).*

Se utilizó para determinar la categoría en la que se agrupó el silbido (ascendente, descendente, múltiple, cóncava, convexa y constante) y obtener las características espectrales y temporales de los silbidos (tiempo inicial, tiempo final, duración, frecuencia mínima y máxima y ancho de banda). Con este programa también se obtuvo el espectrograma de la señal utilizando una ventana Hamming de 512 puntos con un traslape del 50%. Todos los silbidos fueron amplificados, generalmente utilizando una amplificación de 3 dB (el doble de la señal original). En los casos en que éstos no se distinguían muy bien se utilizó mayor amplificación, con un factor de 3 (aumentando 4.8 dB a la señal original).

Para realizar las mediciones se seleccionó el contorno del silbido de la forma más exacta posible, como se muestra en la gráfica 2. El cuadro seleccionado debía incluir los puntos mínimos y máximos, así como la duración total del silbido.

2) Cool Edit 96 (Syntrillium Software Corporation, versión 1.96.8.1).

Se utilizó para obtener los valores de la intensidad promedio tanto de la señal como del ruido ambiental en decibeles (dB re 1 punto). Cabe mencionar que no se utilizó amplificación de las señales con Cool Edit.

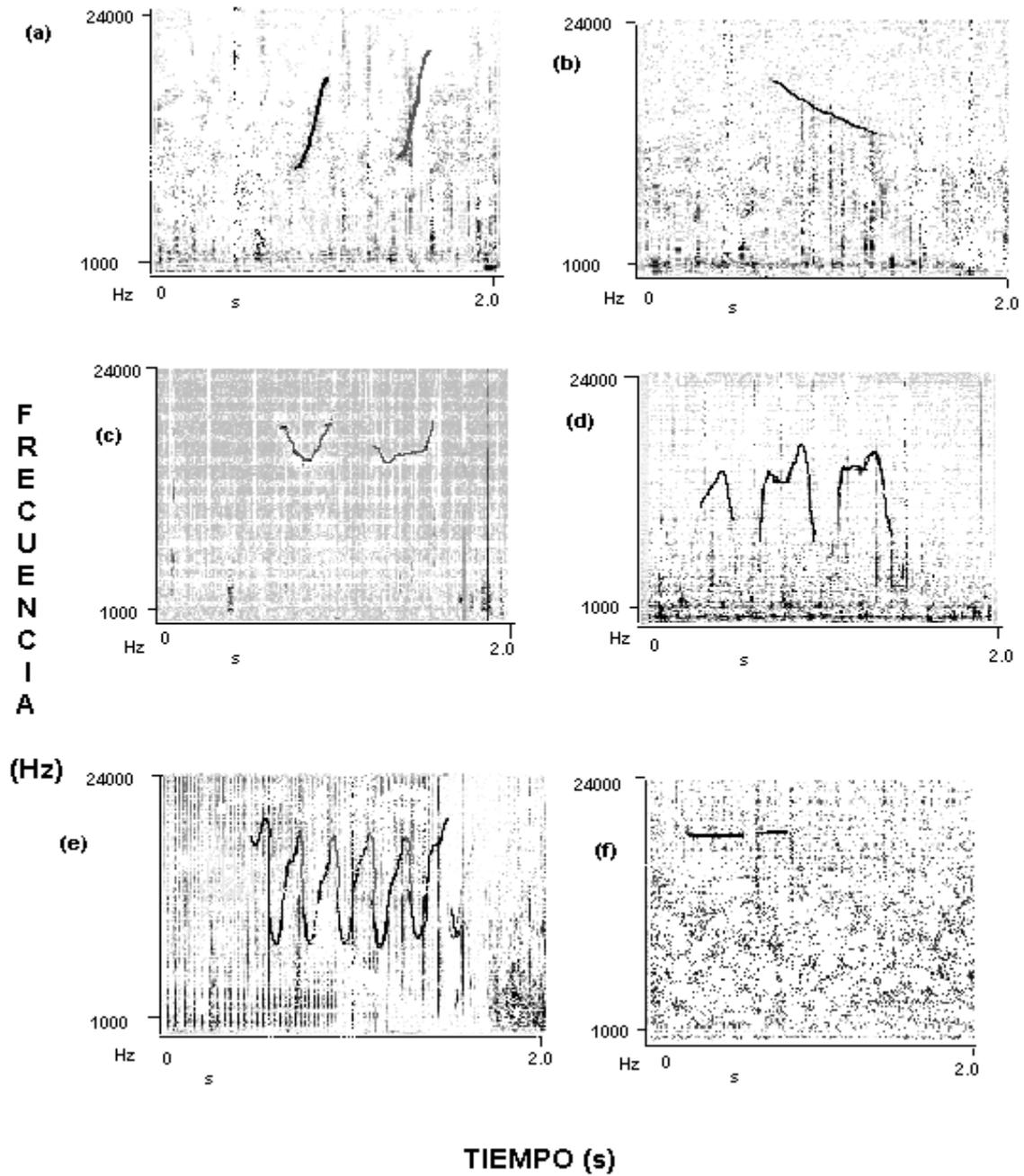


Gráfica 2.- Despliegue gráfico del programa Raven utilizado para obtener algunas de las características de los silbidos: tiempo inicial (begin time), tiempo final (end time), duración (delta time), ancho de banda (delta freq), frecuencia mínima (low freq) y frecuencia máxima (high freq). Con un cuadro se enmarcó el silbido a medir, delimitando los valores mínimos y máximos tanto en frecuencia como en tiempo. La tabla inferior muestra los 6 valores medidos para los tres silbidos mostrados en la figura superior.

La duración de las grabaciones utilizadas en el análisis de los silbidos fue de al menos tres segundos. En caso de que la grabación fuera más larga, se ajustó el tamaño de la ventana a analizar a tres segundos para que se tuviera la misma perspectiva de los silbidos durante su análisis.

6.- *Atribución de la categoría del silbido.*- Los silbidos fueron agrupados en 6 categorías (ascendente, descendente, múltiple, cóncava, convexa y constante) dependiendo de la forma que presenta su contorno (Bazúa-Durán y Au, 2002) (Gráfica 3), como se describe a continuación:

- a) *Contorno ascendente.* Un contorno donde la frecuencia es principalmente ascendente. Si existiera algún punto de inflexión, la parte de la frecuencia descendente comprende menos de la mitad del ancho de banda del silbido. (Gráfica 3 A).
- b) *Contorno descendente.* Un contorno donde la frecuencia es principalmente descendente. Si existiera algún punto de inflexión, la parte de la frecuencia ascendente comprende menos de la mitad del ancho de banda del silbido (Gráfica 3 B).
- c) *Contorno cóncavo.* Un contorno con al menos un punto de inflexión donde la frecuencia es descendente y después ascendente. Las partes ascendente y descendente comprenden cada una más de la mitad del ancho de banda del silbido (Gráfica 3 C).
- d) *Contorno convexo.* Un contorno con al menos un punto de inflexión donde la frecuencia es ascendente y después descendente. Las partes ascendente y descendente comprenden cada una más de la mitad del ancho de banda del silbido (Gráfica 3 D).
- e) *Contorno múltiple.* Un contorno con al menos dos puntos de inflexión donde la frecuencia al principio es ascendente, después descendente y así sucesivamente, o viceversa. Al menos tres de las partes ascendentes y descendentes comprenden cada una más de la mitad del ancho de banda del silbido (Gráfica 3 E).
- f) *Contorno constante.* Un contorno donde la frecuencia cambia menos de 1000 Hz a lo largo de toda la duración del silbido o cuando el ancho de banda del silbido es “menor” que la cuarta parte de la duración del silbido (Gráfica 3 F).



Gráfica 3.- Las 6 categorías en que fueron agrupados los contornos de los silbidos: (A) dos silbidos ascendentes, (B) silbido descendente, (C) dos silbidos cóncavos, (D) tres silbidos convexos, (E) silbido múltiple y (F) silbido constante.

7.- *Medición de parámetros temporales y espectrales.*- Como se muestra en la figura 8 y el la gráfica 2, el tiempo inicial corresponde a la hora en que el silbido se produjo, mientras que el tiempo final es la hora en que el contorno del silbido finalizó. La duración es el tiempo que transcurre desde el inicio del contorno hasta que éste finalizó, medido en segundos. La frecuencia mínima y máxima, como su nombre lo indica, son la menor y mayor frecuencia del silbido y no necesariamente son la frecuencia inicial y la final del silbido. El ancho de banda es el intervalo de frecuencias a la que ocurrió el silbido y es la diferencia entre las frecuencias mínima y máxima del silbido. A partir de la frecuencia mínima y máxima se obtuvo la frecuencia fundamental promedio como el promedio de estas dos frecuencias.

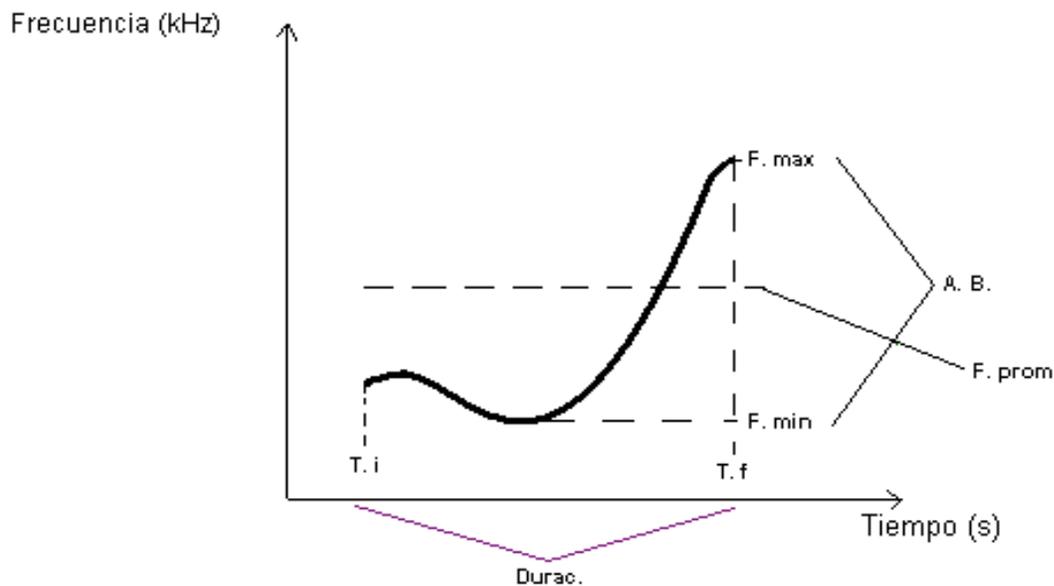


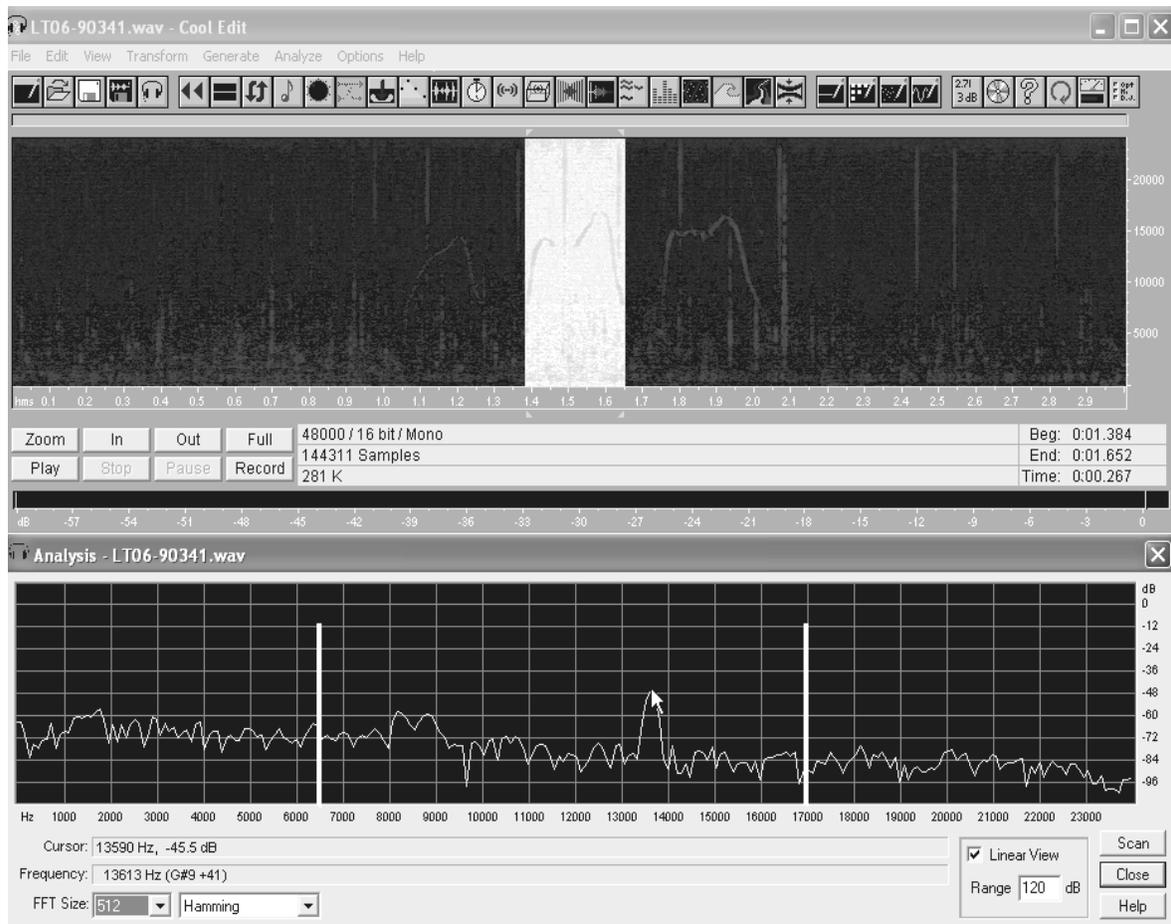
Figura 8.- Algunas de las características que fueron medidas del contorno del silbido. T. i: Tiempo inicial; T. f : Tiempo final; Durac: Duración; F. min: Frecuencia mínima; F. max: Frecuencia máxima; F. Prom: Frecuencia promedio y A.B.: Ancho de Banda.

8.- *Obtención de la relación señal-ruido máxima y mínima.*- La relación señal-ruido (RSR) del silbido se obtuvo a partir de las intensidades promedio tanto del silbido como del ruido ambiental medidas en decibeles (dB re 1 punto) dentro del ancho de banda del silbido. La RSR se calculó como la resta de la intensidad promedio del silbido y la intensidad promedio del ruido ambiental. Primero se seleccionó el contorno completo del silbido (desde el tiempo inicial hasta el tiempo final) y se midió el valor máximo de la intensidad promedio (Gráfica 4). La medición de la intensidad promedio del ruido ambiental se realizó al calcular la intensidad promedio de un segundo de ruido ambiental que no incluía ruido de camarón utilizando el mismo ancho de banda del silbido.

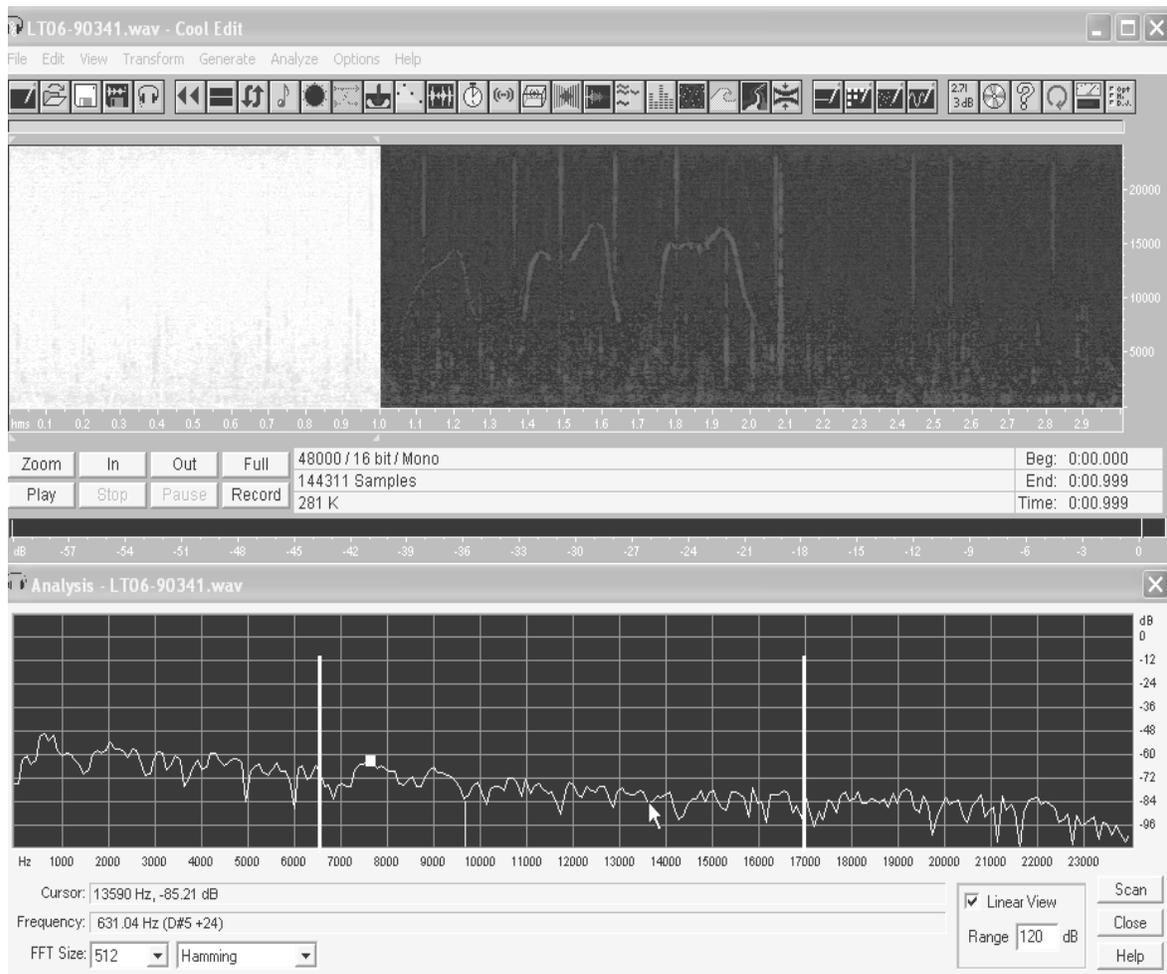
Para obtener la relación señal-ruido máxima (RSRmax) se midió la intensidad promedio del ruido ambiental a la misma frecuencia a la que se realizó la medición de la intensidad promedio del silbido (Gráfica 5). Para calcular la relación señal-ruido mínima (RSRmin) se tomó el valor máximo del ruido ambiental dentro de todo el intervalo de frecuencias que tenía el silbido (Gráfica 5).

Cuando en un archivo existían dos o más silbidos, el tiempo seleccionado de ruido ambiental se obtuvo de la siguiente manera. Si existían 3 silbidos en el mismo archivo, para los dos primeros silbidos se seleccionó el segundo anterior a éstos; para el tercer silbido se seleccionó el segundo posterior a éste.

Así, para el ejemplo dado en las gráficas 4 y 5, el valor que se obtuvo para la RSRmax es de 39.71 dB re 1 punto y para la RSR min es de 22.5 dB re punto.



Gráfica 4.- Despliegue gráfico del programa Cool Edit utilizado para obtener la intensidad promedio del silbido dentro de su ancho de banda. En la figura superior se muestra la selección del contorno completo del silbido y su espectro en la figura inferior. Las barras blancas en el espectro indican los valores mínimos y máximos del ancho de banda del silbido y la flecha indica el valor máximo de la intensidad promedio del silbido, obteniendo así un valor de intensidad promedio de -45.5 dB re 1 punto a la frecuencia promedio de 13590 Hz.



Gráfica 5.- Despliegue gráfico del programa Cool Edit utilizado para obtener la intensidad promedio del ruido ambiental dentro del ancho de banda del silbido. En la figura superior se muestra la selección de un segundo de ruido ambiental que no incluye ruido de camarón y la figura inferior grafica su espectro. Las barras blancas en el espectro indican los valores mínimos y máximos del ancho de banda del silbido. La flecha indica el valor de la intensidad promedio (-85.21 dB re 1 punto) a la misma frecuencia de la intensidad promedio del silbido (13590 Hz) y es la que se utilizó para calcular la relación señal-ruido máxima (RSR max). El cuadro blanco indica el valor de la intensidad promedio máxima del ruido ambiental dentro del ancho de banda del silbido (-68.00 dB re 1 punto) y es la que se utilizó para calcular la relación señal-ruido mínima (RSR min).

9.- *Organización de datos.*- Una vez obtenidas todas las características de los silbidos, éstas se vaciaron en una tabla de Excel (Microsoft 2000) para almacenarlas y poder realizar los cálculos subsecuentes (como el cálculo de la RSR y la frecuencia fundamental promedio) y el análisis de los datos.

Para calcular el valor de la RSR max y RSR min se restó el valor obtenido del ruido ambiental al valor obtenido para el silbido. Para el caso de la frecuencia fundamental promedio, ésta se obtuvo como el promedio de la frecuencia mínima y máxima. De esta manera, se obtuvieron los siguientes parámetros:

- 1) Número de silbido
- 2) Fecha
- 3) Nombre del archivo (hora del día a la que se realizó la grabación)
- 4) Hora de inicio del silbido (en horas, minutos y segundos)
- 5) Duración del silbido (ms)
- 6) Categoría
- 7) Ancho de banda (Hz)
- 8) Frecuencia mínima (Hz)
- 9) Frecuencia máxima (Hz)
- 10) Frecuencia promedio (Hz)
- 11) Amplificación
- 12) Intensidad promedio máxima del silbido (dB re 1 punto)
- 13) Intensidad promedio máxima del ruido a la frecuencia de la intensidad promedio máxima del silbido (dB re 1 punto)
- 14) Intensidad promedio máxima del ruido (dB re 1 punto)
- 15) Relación señal-ruido máxima
- 16) Relación señal-ruido mínima

4.3 Análisis de datos.

Como primer paso, se determinó el número aproximado de silbidos contenido en las grabaciones. Posteriormente, se determinó el número de silbidos truncados por el sistema de grabación (los silbidos que contenían energía más allá de 24 kHz o cuya duración era incompleta) y aquellos traslapados con otros silbidos y/o con otras fonaciones. Finalmente, se determinó el número de silbidos que fueron analizados.

Los valores de RSRmax obtenidos para los silbidos se utilizaron para conocer la calidad de los silbidos. Aquellos silbidos que tenían una RSRmax < 3 dB re eran de mala calidad, mientras que aquellos que tuvieron una RSRmax de 3 o más dB eran de buena calidad. Los silbidos que tienen el doble o más de la energía contenida en el ruido ambiental entre 2 y 24 kHz son aquellos con una RSRmax de 3 o más dB. Por ello, se realizó un histograma para conocer la distribución que presentaron los silbidos y fueron divididos en dos clases en cuanto a su RSRmax:

- 1) Los silbidos que tuvieron una RSRmax < 3 dB y
- 2) Los silbidos que tuvieron una RSRmax \geq 3 dB

Para examinar la calidad de los silbidos se utilizaron 5 variables de los silbidos (duración, ancho de banda, frecuencia promedio, frecuencia mínima y frecuencia máxima) y se realizaron dos comparaciones:

- 1) Comparación de toda la muestra de silbidos con aquellos que tenían una RSRmax \geq a 3 dB (todos vs. buena calidad) y
- 2) Comparación de los silbidos que tenían una RSRmax \geq a 3 dB con aquellos que tenían una RSR max < 3 dB (buena calidad vs. mala calidad).

Los datos de las 5 variables de los silbidos también se graficaron de acuerdo a la calidad de los silbidos utilizando una gráfica de cajas (“box plot”) que mostraba el promedio, la desviación estándar, el máximo y el mínimo de los datos.

Para establecer el repertorio de silbidos de los tursiones de esta localidad también se seleccionaron los silbidos de acuerdo a su calidad (todos los silbidos, aquellos con una $RSR_{max} \geq 3$ dB – silbidos buenos - y aquellos con una $RSR_{max} < 3$ dB – silbidos malos -). Se realizó un conteo de los silbidos clasificados en cada una de las seis categorías para obtener un porcentaje de ocurrencia de silbidos en cada una de estas categorías de acuerdo a su calidad. Así, se obtuvieron tres repertorios, uno para todos los silbidos, otro para aquellos que tuvieron una $RSR_{max} \geq 3$ dB y otro para aquellos con $RSR_{max} < 3$ dB.

Para conocer si existían diferencias significativas en las características y en el repertorio de silbidos con distinta calidad se realizaron dos pruebas con el programa de cómputo Statistica 7, una prueba de “t” (t de Student) para cada una de las 5 variables y otra de χ^2 (chi cuadrada) para obtener las diferencias en cada una de las seis categorías del repertorio de silbidos. También se compararon los valores de RSR_{max} y RSR_{min} para evaluar su utilidad en el estudio de los silbidos de los delfines.

Finalmente, los datos obtenidos se compararon con el estudio de Bazúa Durán (1997), estableciendo semejanzas y diferencias entre ambos registros.

• 5. RESULTADOS.

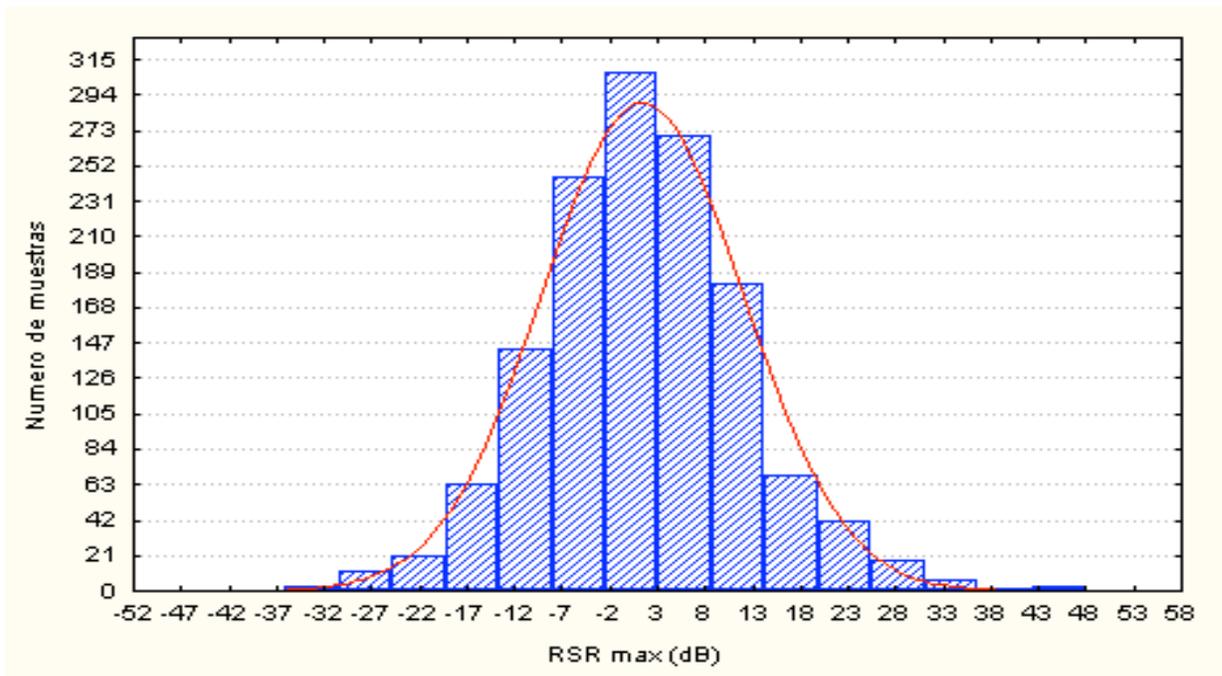
En los 36 días comprendidos entre el 29 de enero y el 6 de noviembre de 2004 se obtuvieron 1,414 minutos de grabaciones acústicas, correspondientes a 1,814 delfines agrupados en 109 manadas. Estos archivos de sonido contenían silbidos en 8.80 minutos, equivalentes a 0.007 min de silbidos / min de grabación. A partir de estos 8.80 minutos se contabilizaron aproximadamente 1,472 silbidos, equivalentes a:

- 13.50 silbidos / manada
- 0.81 silbidos / delfín
- 0.01 silbidos/ min de grabación/ manada
- 0.0006 silbidos/ min de grabación/ delfín.

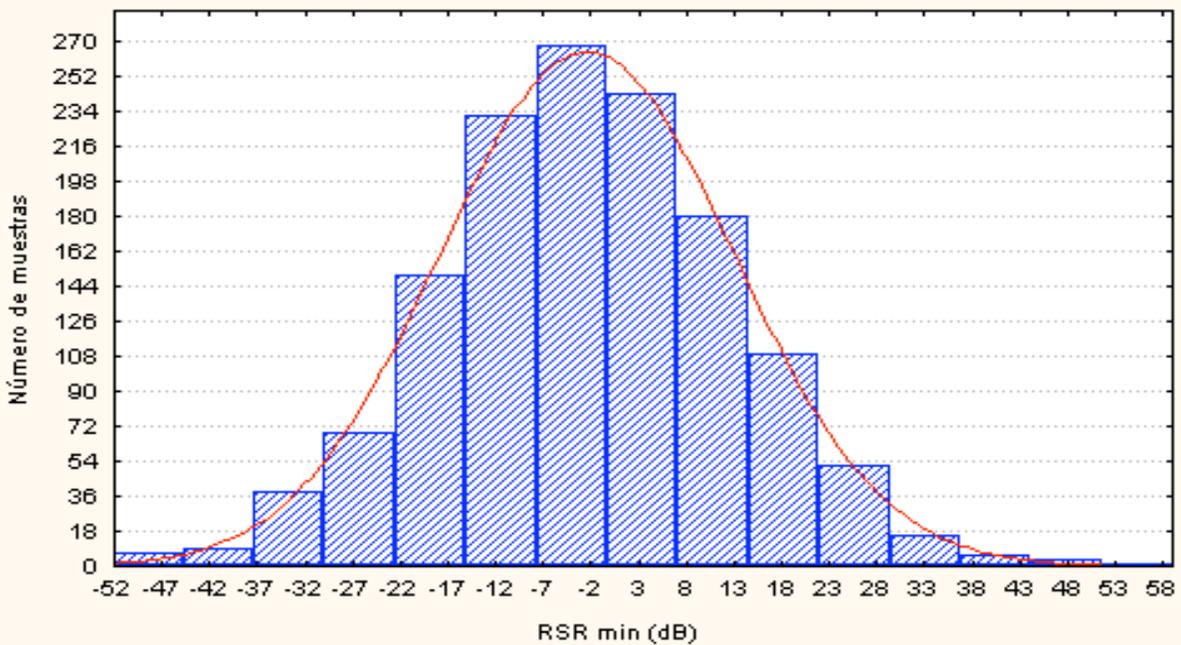
De estos 1,472 silbidos contabilizados, 37 silbidos (2.5%) contenían energía a más de 24 kHz (estaban truncados en frecuencia por el sistema de grabación), 4 (0.3%) silbidos contenían energía antes o después de que se realizó la grabación (estaban truncados en tiempo por el sistema de grabación) y a aproximadamente 85 silbidos (6%, 0.25 minutos) no se les pudo determinar la relación señal-ruido por estar traslapados con pulsos de ecolocalización (44 silbidos) o por estar traslapados con otros silbidos (41 silbidos). Debido a que sí se tomaron medidas de los silbidos que contenían energía a más de 24 kHz, se obtuvieron las características de 1,383 silbidos (94% de los silbidos contabilizados).

5.1 Descripción de parámetros.

El 42.9% (N =594) de los 1,383 silbidos fueron de buena calidad, es decir, tuvieron una relación señal-ruido máxima (RSR max) > 3 dB (Gráfica 6). Cuando se obtuvo la relación señal-ruido con el valor máximo de la intensidad promedio del ruido ambiental (RSRmin) para los silbidos caracterizados, el 35.2% (N =487) tuvo una relación señal-ruido > 3 dB (Gráfica 7). La distribución de los valores de la RSRmax (Gráfica 6) como de la RSRmin (Gráfica 7) son prácticamente normales, aunque la dispersión de la RSRmin es mayor que la de la RSR max (Gráfica 6 y 7). La RSRmax fue de 1.38 ± 10.67 dB y la RSRmin de -2.41 ± 15.45 dB.



Gráfica 6.- Histograma de la relación señal-ruido máxima (RSRmax) en dB para los 1383 silbidos analizados.

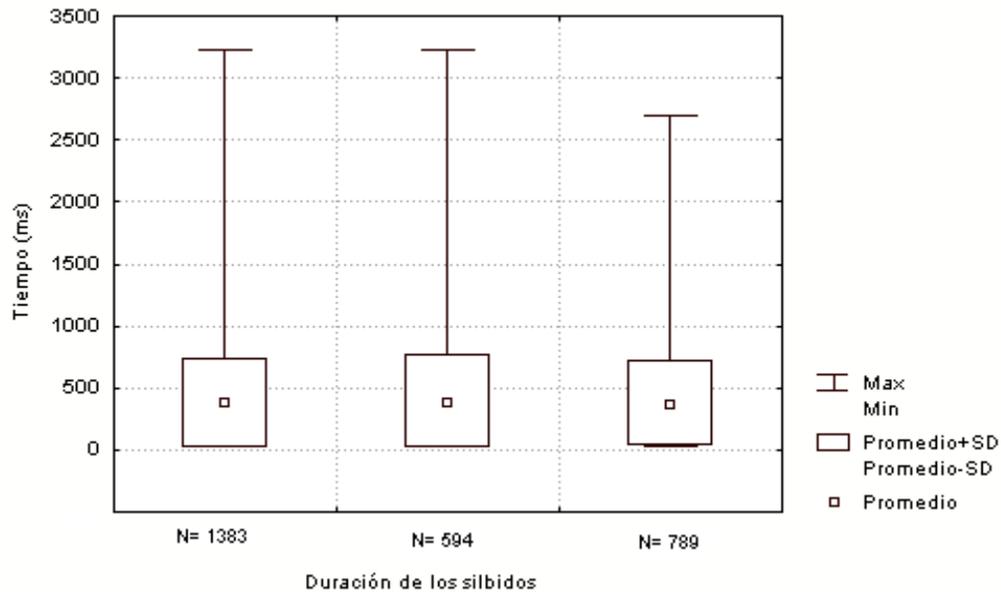


Gráfica 7.-Histograma de la relación señal-ruido con los valores máximos del ruido ambiental (RSRmin) de los 1383 silbidos analizados.

La duración promedio de los silbidos fue de 381 ± 359 ms, siendo la mínima de 31 ms y la máxima de 3,230 ms (Gráfica 8, Tabla I). No se encontró una diferencia significativa en la duración de todos los silbidos caracterizados ($N = 1383$) y aquellos de buena calidad (que tuvieron una $RSR_{max} > 3$ dB, $N = 594$) ($t = 0.48$, G.L. = 1975, $p = 0.63$); tampoco se encontró una diferencia en la duración de los silbidos de buena y mala (que tuvieron una $RSR_{max} < 3$ dB, $N = 789$) calidad ($t = 0.78$, G.L. = 1381, $p = 0.44$). La mayor parte de los silbidos tuvieron una duración entre 22 y 740 ms (88.2%, equivalente al promedio \pm la desviación estándar, Gráfica 8).

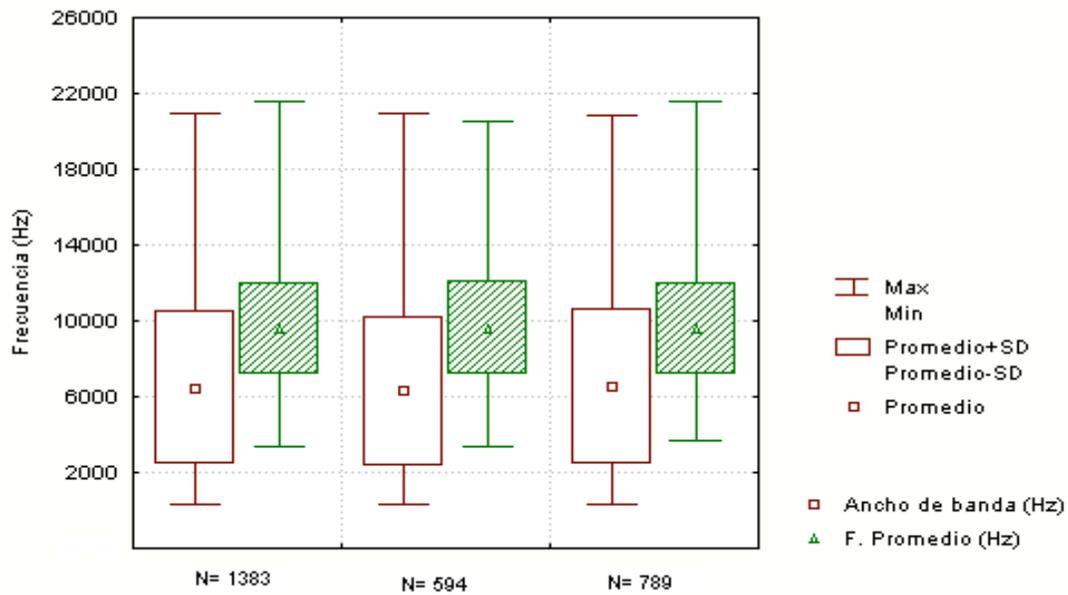
Tabla I.- Valores descriptivos de los parámetros obtenidos del análisis de los silbidos de los tursiones de la Laguna de Términos, Campeche. Para cada parámetro se despliegan los valores descriptivos para todos los silbidos (N =1383), aquellos de buena (con una RSRmax > 3 dB, N =594) y mala calidad (con una RSRmax <3 dB, N =789).

	Promedio	Desviación estándar	Error estándar	Mínimo	Máximo	N
Duración (ms)	381	359	9.667	31	3230	1383
	391	372	11.50	31	3230	594
	349	314	17.18	33	1879	789
Frecuencia promedio (Hz)	9519	2422	65.47	3344	21618	1383
	9582	2438	101.56	3344	21618	594
	9555	2429	85.64	4122	17863	789
Frecuencia mínima (Hz)	6350	2195	59.04	1704	19603	1383
	6363	2255	69.71	1704	19603	594
	6309	1999	109.09	2381	14320	789
Frecuencia máxima (Hz)	12799	3900	104.88	3572	23908	1383
	12800	3896	120.43	3572	23908	594
	12799	3917	213.71	5221	23908	789
Ancho de banda (Hz)	6449	4044	108.74	274	20977	1383
	6436	4096	126.59	274	20977	594
	6489	3882	211.82	458	19328	789
RSR max (dB)	1.38	10.67	0.287	-36.04	47.89	1383
	10.90	6.83	0.280	3.05	47.89	594
	-5.78	6.71	0.238	-36.04	2.99	789
RSR min (dB)	-2.41	15.45	0.415	-52.22	59.05	1383
	2.67	15.23	0.625	-47.42	49.96	594
	-6.24	14.49	0.515	-52.22	59.05	789



Gráfica 8.- Promedio, desviación estándar (SD), máximo (Max) y mínimo (Min) para la duración de los 1383 silbidos caracterizados, así como para los 594 silbidos de buena calidad (con una RSRmax > 3 dB) y los 789 silbidos de mala calidad (con una RSRmax < 3 dB).

Los silbidos tuvieron una frecuencia fundamental promedio de 9.52 ± 2.42 kHz, una frecuencia mínima promedio de 6.35 ± 2.20 kHz, una frecuencia máxima promedio de 12.80 ± 3.90 kHz y un ancho de banda promedio de 6.45 ± 4.04 kHz (Gráfica 9, Tabla I). La frecuencia fundamental promedio mínima fue de 3.34 kHz y la máxima de 21.62 kHz (Gráfica 9, Tabla I). No se encontraron diferencias significativas en la frecuencia fundamental promedio o ancho de banda promedio de todos los silbidos analizados con aquellos de buena calidad ($t = 0.90$, G.L. = 1975, $p = 0.37$), ni tampoco al comparar los silbidos de buena y mala calidad para estos mismos parámetros ($t = -1.41$, G.L. = 1381, $p = 0.16$) (Gráfica 9). La mayor parte de los silbidos analizados tuvieron una frecuencia fundamental promedio entre 7.1 y 11.94 kHz (70.1%) (Gráfica 9) y un ancho de banda entre 2.41 y 10.49 kHz (59.8%) (Gráfica 9).



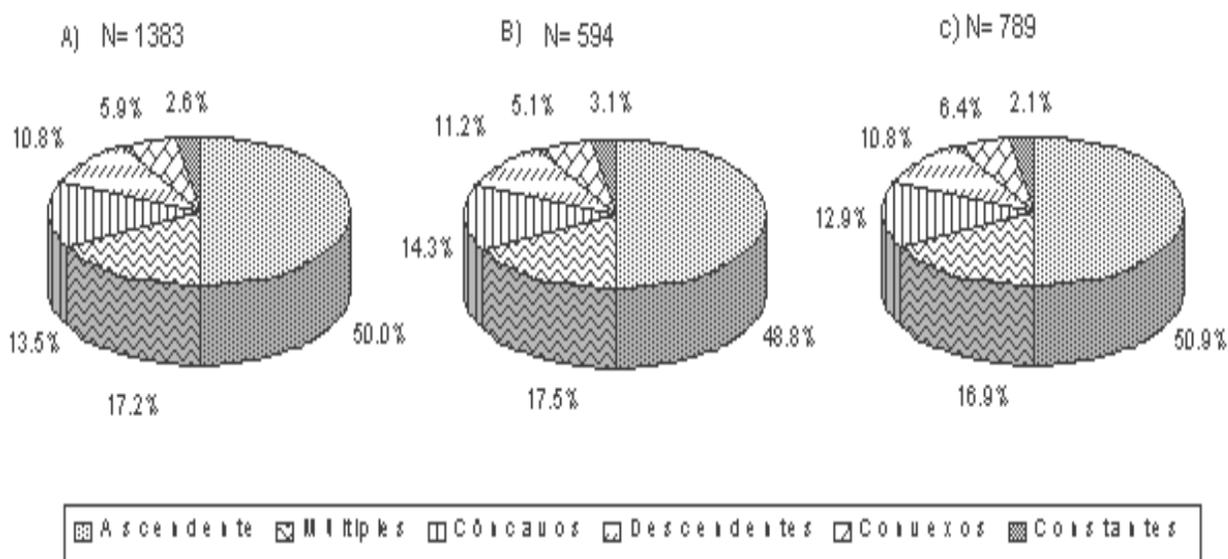
Gráfica 9.- Promedio, desviación estándar (SD), máximo y mínimo para la frecuencia fundamental promedio y el ancho de banda para los 1383 silbidos caracterizados, así como para los 594 silbidos de buena calidad (con una $RSR_{max} \geq 3$ dB) y los 789 silbidos de mala calidad (con una $RSR_{max} < 3$ dB).

Cabe mencionar que la medición de los silbidos se realizó por duplicado, no encontrando diferencias significativas entre los valores obtenidos para los parámetros en ambos análisis (para la duración: $t = 0.0005$, G.L. = 2764, $p = 0.99$, para el ancho de banda: $t = -0.02$, G.L. = 2764, $p = 0.98$, para la frecuencia promedio: $t = -0.02$, G.L. = 2764, $p = 0.98$, para la RSR_{max} : $t = -0.01$, G.L. = 2764, $p = 0.90$, para la RSR_{min} : $t = -0.065$, G.L. = 2764, $p = 0.94$).

5.2 Descripción del repertorio.

El repertorio de silbidos de los tursiones estuvo compuesto por (Gráfica 10 A):

- 50.0% silbidos ascendentes
- 17.2% silbidos múltiples
- 13.5% silbidos cóncavos
- 10.8% silbidos descendentes
- 5.9% silbidos convexos
- 2.6% silbidos de frecuencia constante.



Gráfica 10.- Porcentajes de ocurrencia de silbidos en las seis categorías en las que se agruparon los 1383 silbidos (A), los 594 silbidos de buena calidad (con una RSR max ≥ 3 dB) (B) y los 789 silbidos de mala calidad (que tuvieron una RSR max < 3 dB) (C) de los tursiones de la Laguna de Términos, Campeche.

Considerando únicamente los silbidos de buena calidad (con una RSRmax ≥ 3 dB, N =594), se obtuvo el siguiente repertorio de silbidos (Gráfica 10 B):

- 48.8% silbidos ascendentes

- 17.5% silbidos múltiples
- 14.3% silbidos cóncavos
- 11.2% silbidos descendentes
- 5.1% silbidos convexos
- 3.1% silbidos de frecuencia constante.

Considerando únicamente los silbidos de mala calidad (con una RSR_{max} < 3 dB, N =789), se obtuvo el siguiente repertorio de silbidos (Gráfica 10 C):

- 50.9% silbidos ascendentes
- 16.9% silbidos múltiples
- 12.9% silbidos cóncavos
- 10.8% silbidos descendentes
- 6.4% silbidos convexos
- 2.1% silbidos de frecuencia constante

Tampoco se encontró una diferencia en la composición del repertorio de silbidos utilizando todos los silbidos analizados y aquellos que tuvieron una buena calidad ($\chi^2 = 0.33$, G.L. =11, p =0.99), ni se encontró una diferencia entre los repertorios de silbidos de buena y mala calidad ($\chi^2 = 1.03$, G.L. =11, p =0.96).

Al realizar la medición de los silbidos por duplicado, tampoco se encontraron diferencias significativas entre los valores obtenidos para la descripción del repertorio en ambos análisis ($\chi^2 = 0.0009$, G.L. =11, p =1.0).

Así, no se encontraron diferencias en los parámetros (duración, frecuencia fundamental promedio y ancho de banda) ni en el repertorio (ocurrencia de silbidos en las 6 categorías) de los silbidos al considerar la calidad de éstos (valor de la RSRmax).

5.3 Comparación con otro estudio.

El único estudio encontrado que describía los silbidos de tursiones en la localidad de la Laguna de Términos, Campeche fue el de Bazúa Durán (1997), quien estableció un repertorio de silbidos para los tursiones de la Laguna de Términos a partir de una muestra de 182 silbidos grabados durante julio de 1996 con un sistema de grabación con una frecuencia máxima de respuesta de aproximadamente 20 kHz.

Al realizar la comparación de las características de los silbidos descritas por Bazúa Durán (1997) y este estudio se obtuvieron diferencias significativas para la duración de los silbidos, así como para su frecuencia mínima y máxima (Tabla II). Para los valores obtenidos del ancho de banda de los silbidos no se encontraron diferencias significativas (Tabla II).

Tabla II.-Valores descriptivos de los parámetros obtenidos del análisis de los silbidos de los tursiones de la Laguna de Términos, Campeche por Bazúa Durán (1997) y el presente trabajo para todos los silbidos y aquellos de buena calidad (con una RSRmax \geq 3 dB) y resultados de comparar ambos estudios para estos cuatro parámetros.

Parámetros	Bazúa Durán (1997)	Presente trabajo (2005)	t	G. L.	p	N
Duración promedio (ms)	591 \pm 425	381 \pm 359	-14.28	1563	<0.001*	1383
		391 \pm 372	-6.06	774	<0.001*	594
Frecuencia mínima (kHz)	5.38 \pm 1.30	6.35 \pm 2.20	-4.40	1563	<0.001*	1383
		6.36 \pm 2.25	-5.88	774	<0.001*	594
Frecuencia máxima (kHz)	12.11 \pm 2.93	12.80 \pm 3.90	-4.13	1563	<0.001*	1383
		12.80 \pm 3.89	1.96	774	0.04*	594
Ancho de banda (kHz)	6.73 \pm 2.94	6.44 \pm 4.04	0.89	1563	0.372	1383
		6.43 \pm 4.09	1.43	774	0.152	594
N	182	1383				
		594				

*Los valores son diferentes con un intervalo de confianza de 95%.

El repertorio de silbidos fue descrito por Bazúa Durán (1997) de la siguiente manera (Tabla III):

- 50.6% silbidos múltiples
- 19.2% silbidos convexos
- 17.6% silbidos ascendentes
- 11.6% silbidos cóncavos
- 0.5% silbidos descendentes
- 0.5% silbidos de frecuencia constante

Tabla III.- Porcentajes de ocurrencia de los silbidos de torsiones de la Laguna de Términos, Campeche agrupados en seis categorías por Bazúa Durán (1997) y el presente trabajo para todos los silbidos y aquellos de buena calidad (con una $RSR_{max} \geq 3$ dB), así como los resultados de comparar ambos estudios (prueba de chi-cuadrada, χ^2).

Categoría	Bazúa Durán (1997)	Presente trabajo	
		Todos los silbidos	Silbidos de buena calidad ($RSR_{max} \geq 3$ dB)
Ascendentes	17.6%	50%	48.8%
Múltiples	50.6%	17.2%	17.5%
Cóncavos	11.6%	13.5%	14.3%
Descendentes	0.5%	10.8%	11.2%
Convexos	19.2%	5.9%	5.1%
Constantes	0.5%	2.6%	3.1%
N	182	1383	594
	χ^2	127.61	134.44
	G.L.	5	5
	p	0.94*	0.93*

*Los valores son diferentes con un intervalo de confianza de 95%.

Al realizar la comparación del repertorio de silbidos descritos por Bazúa Durán (1997) y este estudio se obtuvieron diferencias significativas en la distribución de la ocurrencia de los silbidos (Tabla III). Por ello, tomando los mismos silbidos utilizados por Bazúa Durán (1997) (N =182) y aplicando el criterio de clasificación que se utilizó en este trabajo, el repertorio de Bazúa Durán (1997) quedó reclasificado de la siguiente manera (Tabla IV):

- 51.0% silbidos múltiples
- 29.7% silbidos ascendentes
- 14.9% silbidos cóncavos
- 3.3% silbidos convexos
- 0.6% silbidos descendentes
- 0.5% silbidos de frecuencia constante

Aún con esta reclasificación de los silbidos de Bazúa Durán (1997) se obtuvieron diferencias significativas en la distribución de la ocurrencia de los silbidos (Tabla IV).

Tabla IV.- Porcentajes de ocurrencia de los silbidos de tursiones de la Laguna de Términos, Campeche agrupados en seis categorías haciendo la reclasificación del repertorio obtenido por Bazúa Durán (1997) y aquellos agrupados por el presente trabajo para todos los silbidos y aquellos de buena calidad (con una RSRmax \geq 3 dB), así como los resultados de comparar ambos estudios (prueba de chi-cuadrada, χ^2).

Categoría	Reclasificación del repertorio de Bazúa Durán (1997)	Presente trabajo	
		Todos los silbidos	Silbidos de buena calidad (RSRmax \geq 3 dB)
Ascendentes	29.7%	50.0%	48.8%
Múltiples	51.0%	17.2%	17.5%
Cóncavos	14.9%	13.5%	14.3%
Descendentes	0.6%	10.8%	11.2%
Convexos	3.3%	5.9%	5.1%
Constantes	0.5%	2.6%	3.1%
N	182	1383	594
	χ^2	20.91	20.35
	G.L.	5	5
	p	0.99	0.98*

*Los valores son diferentes con un intervalo de confianza de 95%.

• 6. DISCUSIÓN.

En este estudio se grabaron 0.007 minutos de silbidos / minuto de grabación, es decir, no se grabaron muchos silbidos. Los silbidos grabados provenían de 109 manadas correspondientes a 1,814 delfines, los cuales equivalen a 13.5 silbidos por manada ó 0.80 silbidos por delfín. La producción de silbidos dentro de una manada puede estar relacionada con el número de individuos presentes, no sólo por tener un mayor número de animales, sino porque los silbidos probablemente tienen una función de comunicación y de contacto entre individuos (Dudzinski, *et al.* 2002).

Así, probablemente al aumentar el número de individuos aumenta la necesidad de comunicarse. Por lo tanto, si una manada está formada por pocos individuos se esperaría que la producción de silbidos fuera baja, mientras que si la manada es grande se esperaría que la producción de silbidos aumente; todo esto para mantener el contacto entre los individuos. El tamaño promedio de las manadas en Laguna de Términos es de 12.35 ± 13.08 delfines por manada (Delgado Estrella, 2002), un número bajo, y se grabaron pocos silbidos (0.80 silbidos por delfín). Por ello, puede suponerse que la necesidad de comunicarse por silbidos no es muy alta en esta zona.

6.1 Descripción de parámetros y repertorio.

Se calcularon dos tipos de relación señal-ruido, una máxima (RSRmax) y un mínima (RSRmin). Aunque para describir la calidad de los silbidos grabados únicamente se utilizó la relación RSRmax, la distribución de los valores de ambas RSR se ajustaron a una curva normal; lo cual era de esperarse, ya que en cualquier población se da el balance entre lo mejor y lo peor. La diferencia radicó en el promedio. Para la RSRmax fue de 1.38 ± 10.67 dB y para la RSRmin fue de -2.41 ± 15.45 dB, lo cual también era de esperarse.

La duración de los silbidos analizados fue de 381 ± 359 ms, es decir, son silbidos de menos de un segundo, a veces imperceptibles al oído humano. Únicamente una muy pequeña parte (7.30%) de los silbidos grabados en esta localidad tuvieron una duración de más de un segundo.

Los silbidos grabados contuvieron frecuencias dentro del rango audible humano, con una frecuencia promedio de 9.52 ± 2.42 kHz (Tabla I). La frecuencia máxima encontrada para los silbidos fue de 23.91 kHz (Tabla I). Este valor de frecuencia máxima en los silbidos corresponde al límite superior del sistema de grabación y no a lo que probablemente sean capaces de producir los tursiones. Sin embargo, debido a que solamente el 5.3% de los silbidos tuvieron frecuencias mayores a 20 kHz (o que el 2.7% de los silbidos tuvieron frecuencias mayores a 22 kHz, donde comienza a actuar el filtro *antialiasing* de la grabadora DAT), con el sistema utilizado por este estudio se describieron la mayoría de los silbidos producidos por los tursiones durante el tiempo en que se realizaron las grabaciones.

Las características espectrales de los silbidos reflejan cómo estos animales posiblemente estén haciendo uso de sus silbidos, así como de los animales que produjeron estos sonidos. A pesar de que la frecuencia mínima encontrada para los silbidos fue de 1.70 kHz, el intervalo de frecuencias utilizado por los tursiones generalmente estaba por arriba de las frecuencias del ruido ambiental de mayor intensidad y duración en la Laguna de Términos, como los peces, los motores de las embarcaciones y el golpeteo de las embarcaciones con la superficie del agua (cabe mencionar que el ruido de los camarones es muy intenso, pero al ser de corta duración y gran ancho de banda, en realidad no enmascara a los silbidos de los tursiones). El que los delfines emitan sonidos de corta duración probablemente indique que no existen otros sonidos que los enmascaren.

La desviación estándar de los datos refleja la dispersión de los mismos; por ello, el ancho de banda refleja que los silbidos de los tursiones son de frecuencia bastante modulada. En cuanto a la frecuencia mínima, para esta característica de los silbidos se obtuvo poca dispersión, lo que implica que posiblemente los tursiones estén produciendo silbidos en el límite con el ruido ambiental para evitar que sus silbidos se enmascaren. Para la frecuencia máxima de los silbidos el valor de la desviación estándar fue mucho mayor. Tomando en cuenta que la frecuencia máxima de los silbidos está inversamente relacionada con el tamaño del delfín que los produce, el hecho de haber encontrado una mayor dispersión en la frecuencia máxima de los silbidos implica que probablemente se grabaron delfines de diferentes tamaños y, por ende, de distintas edades.

El repertorio de silbidos descrito en este trabajo tuvo un porcentaje de más del 50% de ocurrencia para los silbidos de contorno ascendente, en segundo lugar los silbidos de contorno múltiple (17%). Ya que la mayor parte de los silbidos utilizados en este trabajo fueron de mala calidad es posible que las secuencias de silbidos clasificados como ascendentes fueran en realidad de contorno múltiple, esto por la pérdida en los contornos de los silbidos, produciendo diferencias con el repertorio de silbidos con el que fue comparado.

Los silbidos fueron divididos en dos partes, aquellos con buena calidad, representados por los silbidos con una relación señal-ruido máxima (RSR_{max}) \geq 3 dB, y aquellos de mala calidad, representados por los silbidos con una RSR_{max} < 3 dB. Se esperaba que los silbidos de peor calidad tendrían una duración y un ancho de banda menor a los silbidos de buena calidad. Al analizar silbidos de mala calidad muchas veces no se puede medir el contorno completo, faltando las partes iniciales y finales. Sin embargo, al realizar la comparación tanto de los parámetros extraídos de los silbidos como de la ocurrencia del repertorio de silbidos en las seis categorías de toda la muestra de silbidos (N= 1383) con aquellos de los silbidos de buena calidad (N =594) no se encontró ninguna diferencia ni en los parámetros ni en el repertorio. A pesar de que la mayor parte de la muestra estuvo constituida por silbidos de mala calidad (57.1 %), no se encontraron diferencias al comparar los silbidos de buena calidad con aquellos de mala calidad. Así, la calidad de los silbidos no parece ser importante para establecer las características espectro-temporales y del repertorio de silbidos.

Lo que en este trabajo se describió como calidad en los silbidos puede deberse a diversos hechos que ocurren durante la producción y propagación del sonido en el agua, como lo es la distancia a la que se encuentran los delfines entre ellos, las características fisicoquímicas y biológicas de la Laguna de Términos, la capacidad auditiva de los delfines para oír los silbidos, el ruido ambiental presente en la zona o hasta el hecho de que el delfín que produjo el silbido no quiso ponerle una mayor intensidad para lograr que su silbido llegara al receptor. Estos factores determinarán qué es lo que los distintos tursiones perciben de los silbidos emitidos. Debido a que los silbidos al parecer sólo tienen la función de comunicación entre individuos, el hecho de no haber encontrado diferencias en las características de los silbidos medidas de acuerdo a su calidad indica que los tursiones posiblemente están recibiendo la misma información de cualquier delfín que se encuentre a menos de 400 m, sin importar la producción y propagación del sonido en el agua.

6.2 Comparación con otro estudio.

Al comparar los resultados obtenidos en este trabajo con los obtenidos por Bazúa Durán (1997) se encontraron diferencias en cuanto a las características temporales y espectrales, así como en el repertorio. Estas diferencias pueden ser debidas a las siguientes causas:

- 1.- Janik (1999) encontró que en las clasificaciones de silbidos realizadas por diferentes personas se obtienen repertorios distintos. Por ello, se reclasificaron por este estudio los contornos de los silbidos reportados por Bazúa Durán (1997) (Tabla V). Sin embargo, aún después de la reclasificación, seguía habiendo

diferencias en los repertorios, haciendo suponer que las diferencias no eran debidas a la clasificación. Los datos reanalizados ya habían sido procesados al seleccionar los silbidos a analizar y al obtener los contornos que fueron utilizados para hacer la reclasificación. Así, para poder descartar por completo diferencias debidas a los individuos que realizaron el análisis se tendrían que analizar las cintas originales por este nuevo observador.

Tabla V. Porcentajes de ocurrencia de los silbidos de tursiones de la Laguna de Términos, Campeche agrupados en seis categorías por Bazúa Durán (1997), haciendo la reclasificación por este estudio del repertorio obtenido por Bazúa Durán (1997) y el presente trabajo para todos los silbidos.

Categoría	Bazúa Durán (1997)	Reclasificación del repertorio de Bazúa Durán (1997)	Presente trabajo
Múltiples	50.6%	51.0%	17.2%
Ascendentes	17.6%	29.7%	50.0%
Convexos	19.2%	3.3%	5.9%
Cóncavos	11.6%	14.9%	13.5%
Descendentes	0.5%	0.6%	10.8%
Constantes	0.5%	0.5%	2.6%

2.- Las diferencias también se pueden deber al tamaño de la muestra de ambos estudios (Bazúa Durán [1997] analizó 182 silbidos, mientras que este estudio analizó 1383 silbidos), las zonas de la Laguna donde fueron realizadas las grabaciones y el tiempo durante el cual se realizaron las grabaciones, tanto dentro de un año como entre años (Bazúa Durán [1997] grabó solamente en julio de 1996 en la Boca de El Carmen y en la Laguna de Panlao, mientras que este estudio se realizó a lo largo de 2004 grabando animales en toda la Laguna). Entonces, se

puede suponer que el repertorio de silbidos descrito por este estudio es más cercano a lo que posiblemente es el repertorio real de silbidos de los tursiones que habitaron en la Laguna de Términos, Campeche durante 2004. Probablemente, con el paso del tiempo el repertorio de silbidos de tursiones para esta localidad va cambiando, por lo que no es posible descartar que las discrepancias se puedan deber a la diferencia entre 1996 y 2004.

3.- Aunque se encontró que la calidad de los silbidos no es importante para determinar su duración, parámetros espectrales y la categoría en la que se agruparon, es posible que entre ambos estudios sí exista una diferencia al respecto (Tabla II- frecuencia máxima, Tablas III y IV). Al examinar los silbidos de mala calidad puede haber pérdida en las partes inicial y final de los contornos disminuyendo su duración y frecuencias mínima y máxima. Probablemente, los sonidos no utilizados en el trabajo de Bazúa Durán (1997) hayan sido de poca calidad y de categoría ascendente y es por ello que los silbidos múltiples tuvieron el mayor porcentaje de ocurrencia (Tablas III, IV, V). Como en este trabajo la mayor parte de los silbidos grabados fue de mala calidad (57.1%), es posible que los silbidos que se categorizaron como silbidos de contorno ascendente en realidad hayan sido silbidos de contorno múltiple y que por su mala calidad fueron agrupados en otra categoría (al perder parte del contorno), obteniendo así un repertorio muy diferente en este estudio.

4.- El sistema de grabación de Bazúa Durán (1997) únicamente cubría hasta aproximadamente 15-20 kHz y en este estudio se encontró que el 10.1% de los silbidos tuvieron frecuencias mayores a 17.77 kHz, la frecuencia máxima reportada en el trabajo previo. Por ello, era de esperarse que existieran diferencias en la frecuencia máxima de los silbidos grabados por este estudio y aquellos grabados por Bazúa Durán (1997). Sin embargo, cuando se compararon los silbidos de buena calidad con los del trabajo previo en cuanto a su frecuencia máxima, prácticamente no se encontraron diferencias significativas (Tabla II), pero sí se encontraron diferencias estadísticas significativas en la frecuencia mínima de los silbidos (Tabla II). Tampoco se encontraron diferencias estadísticas significativas para el ancho de banda promedio (Tabla II). Así, es posible que las diferencias en las frecuencias mínima y máxima no son debidas al sistema de grabación utilizado.

5.- Las diferencias también se pueden deber a cambios en las características de las manadas grabadas, tales como el comportamiento de los tursiones y el número de individuos y la composición grupal de la manada. Todas las conductas de los tursiones posiblemente estén asociadas a la producción de silbidos de una categoría específica, por lo que el obtener un porcentaje de mayor ocurrencia en alguna de las categorías puede deberse a la actividad que estaban realizando los tursiones al momento de la grabación. Janik (2000), reportó que en las etapas iniciales del aprendizaje del repertorio acústico, especialmente en los primeros meses de vida, el delfín reproduce principalmente las partes iniciales y finales del silbido. Es por esto que si en la manada existen crías es posible que se encontrara que el repertorio de silbidos contiene un mayor porcentaje de contornos ascendentes, descendentes y de frecuencia constante que cuando sólo existen

individuos adultos, por lo que es necesario realizar un análisis comparativo tomando en cuenta las características de las manadas para determinar su influencia en el repertorio y características de los silbidos.

En la Laguna se encuentran 5 subsistemas en los cuales varía el tipo de sustrato y la vegetación (Yáñez-Arancibia y Day 1982; Yáñez-Arancibia *et al.* 1983). En la Laguna de Términos los tursiones también se mueven constantemente realizando actividades específicas (Delgado, 1991, 2002), estando la producción de sonidos relacionada con la conducta de los tursiones (Herzing, 1996; Bazúa-Durán, 2005). Por ello, es posible que la emisión de sonidos pudiera estar relacionada con el tipo de sustrato, de presas y a la salinidad y la temperatura de las zonas que habitan los tursiones. El agua de la Laguna de Términos es turbia en algunos lugares y clara en otros, por lo que los silbidos podrían ser utilizados como un medio de comunicación entre individuos donde la visibilidad es variable, pudiendo también ser utilizados de acuerdo a las otras condiciones variantes de la Laguna, como el tipo de alimento y su distribución.

De acuerdo a las características de la Laguna de Términos y del registro de silbidos de los tursiones que la habitan, se podrían llevar a cabo estudios que profundicen en el uso de las fonaciones por los tursiones de esta localidad, para así complementar y obtener un mayor conocimiento de la función que la comunicación acústica tiene en estos animales. Se podrían realizar estudios sobre la relación de la producción de sonidos de acuerdo a las características del agua (turbidez y salinidad) y a la época estacional; también sobre el comportamiento de los

tursiones en los diferentes subsistemas de la Laguna, enfocado a conductas específicas y a observar las modificaciones que tiene el repertorio de silbidos en el tiempo. Asimismo, se podría relacionar la identificación de individuos residentes de la Laguna de acuerdo a los silbidos que producen y, así, poder evaluar la utilidad de los silbidos “firma” (Caldwell *et al.* 1990; McCowan y Reiss, 2001) en condiciones silvestres.

• 7. CONCLUSIONES.

A partir del tiempo de grabación en la Laguna de Términos, Campeche, se pudo determinar:

- ✓ Que los silbidos tuvieron una ocurrencia muy baja en esta localidad (0.62% del tiempo total de grabación) y
- ✓ Que los tursiones emitieron silbidos traslapados en un porcentaje muy bajo (0.02% del tiempo total de grabación),

por lo que puede suponerse que la necesidad de comunicarse por silbidos no es muy alta en esta zona, posiblemente debido a que el tamaño de las manadas fue pequeño. Los comportamientos en manada deben estar asociados a una mayor producción de silbidos, por lo que para llevar a cabo actividades que incluyan a todos los miembros de la manada, la cantidad de silbidos debe aumentar.

Dentro de las características temporales de los silbidos se encontró que tienen una duración promedio de 381 ± 359 ms, es decir, son silbidos muy cortos, a veces imperceptibles. Únicamente una muy pequeña parte (7.30%) de los silbidos grabados en esta localidad tuvieron una duración de más de un segundo. Las características espectrales de la frecuencia fundamental de los silbidos analizados se encontraron dentro del rango audible humano, con una frecuencia promedio de 9.52 ± 2.42 kHz y un ancho de banda promedio de $6.45 \text{ kHz} \pm 4.04 \text{ kHz}$. La frecuencia mínima encontrada para los silbidos fue de 1.7 kHz, con una frecuencia máxima de 23.91 kHz que corresponde al límite superior del sistema de grabación

y no a lo que probablemente sean capaces de producir los tursiones. Por ello, es necesario utilizar equipos con un mayor ancho de banda para conocer el límite superior real de las frecuencias en las que se producen los silbidos de los tursiones que habitan la Laguna de Términos.

El repertorio de silbidos de tursiones obtenido a partir de un año de muestreo, estuvo compuesto principalmente por silbidos ascendentes (50%) y en segundo lugar por silbidos múltiples (17%). Así, los silbidos de los tursiones de la Laguna de Términos, Campeche fueron de corta duración, pequeño ancho de banda y de frecuencia no muy modulada. Es posible que los silbidos de los tursiones de esta localidad tengan estas características debido a que estos delfines no tienen la necesidad de producir sonidos muy complejos para comunicarse. Las características y producción de silbidos pueden depender de las características fisicoquímicas y biológicas de la zona.

A pesar de que más del 50% de los silbidos de toda la muestra fueron de mala calidad (silbidos con una $RSR_{max} < 3$ dB), no se encontraron diferencias en los valores de sus características espectrales y temporales ni en el de su repertorio al examinarlos de acuerdo a la calidad de los silbidos. Así, la determinación del repertorio y las características de los silbidos no depende de la calidad de los silbidos.

A partir de la comparación realizada con el trabajo de Bazúa Durán (1997) se encontró que el repertorio de silbidos y algunas de las características de los

silbidos (duración promedio y frecuencia mínima y máxima) fueron muy diferentes a los encontrados por este trabajo. El único parámetro en el cual no hubo diferencias significativas en los valores obtenidos fue el ancho de banda promedio de los silbidos.

No se pudo determinar cuál o cuáles pudieron ser las causas de estas diferencias, pero pueden ser debidas a cualesquiera de los siguientes puntos:

- La persona que realizó el análisis (debido al método de selección de los silbidos a analizar y a la extracción de las características de los silbidos),
- El tamaño de muestra utilizado (N = 182 vs. N = 1383, debido al tiempo de muestreo, que en este estudio fue mayor);
- El sistema de grabación utilizado (el sistema utilizado por Bazúa Durán [1997] era de menor ancho de banda);
- Las zonas donde fueron grabados los silbidos (que en este estudio fueron más);
- La diferencia en los años en que se realizaron las grabaciones (1996 vs. 2004) y
- Cambios en el ambiente o en los delfines (las características de las manadas de tursiones grabadas, como su comportamiento, tamaño y composición).

Para evitar diferencias en los resultados obtenidos por distintos estudios es necesario elegir adecuadamente el método a utilizar, así como las características que deben tener los silbidos para ser seleccionados y agrupados en las distintas categorías. También se debe considerar el tamaño de la muestra que será analizada y el tiempo durante el cual se realizará el muestreo (que debe ser

considerablemente grande). El hecho de que los resultados obtenidos en este estudio variaran significativamente con aquellos de un estudio previo nos indica que es necesaria la unificación de criterios para llevar a cabo análisis más detallados en un futuro.

• GLOSARIO.

Ancho de banda	Intervalo de frecuencias desde la mínima hasta la máxima (Fig. 8). Medida en kilohertz (kHz).
Características de los silbidos	Duración, frecuencia mínima, frecuencia máxima, frecuencia fundamental promedio, ancho de banda y relaciones señal ruido máxima y mínima.
Categorías de silbidos	Grupo en que fueron catalogados los silbidos de acuerdo a la forma que presentaba su contorno: ascendente, descendente, cóncavo, convexo, múltiple y constante (Gráfica 3).
Calidad de los silbidos	Relación señal ruido máxima (RSRmax) de los silbidos grabados medida en decibeles (dB). Los silbidos de buena calidad tenían una RSRmax mayor o igual a 3 dB y los silbidos de mala calidad tenían una RSRmax menor a 3 dB.
Contorno de un silbido	Información en tiempo, frecuencia e intensidad de los silbidos que se despliega en el espectrograma (Fig. 8).
Cool Edit 96	Programa de cómputo utilizado para obtener el espectrograma y obtener la relación señal ruido de los silbidos.
DAT	Siglas del inglés <i>Digital Audio Tape</i> para la grabadora digital de cintas utilizada para realizar las grabaciones acústicas.
dB	decibeles. Unidad de medida de la intensidad de un sonido (I_1) con referencia a un valor determinado (I_0). $dB = 10 \log (I_1/I_0)$
Distribución normal	La curva normal representa una distribución teórica de probabilidades y describe la relación entre una variable aleatoria y la frecuencia con que se presentan sus valores. Tiene forma de campana y se le conoce también como curva de Gauss.
Duración	Tiempo que transcurre desde el inicio del contorno del silbido hasta que éste finaliza (Fig. 8).
Frecuencia fundamental	Es la frecuencia natural de resonancia más baja de un sistema vibrante. Para los silbidos, es la frecuencia más baja a la que se tiene energía. Medida en kilohertz (kHz).
Frecuencia promedio	Promedio de la frecuencia mínima y máxima del silbido (Fig. 8). Medida en kilohertz (kHz).
Frecuencia máxima	Frecuencia más alta medida en el contorno del silbido (Fig. 8). Medida en kilohertz (kHz).
Frecuencia mínima	Frecuencia más baja registrada en el contorno del silbido (Fig. 8). Medida en kilohertz (kHz).

Hidrófono omnidireccional	Transductor utilizado para realizar las grabaciones acústicas en agua cuya respuesta es igual en cualquiera de las direcciones de donde provenga el sonido.
Intensidad	Energía contenida en un sonido. Medida en decibeles (dB).
Intensidad promedio del ruido ambiental para RSRmax	Energía promedio de un segundo de ruido ambiental que no incluía ruido de camarón medido a la misma frecuencia a la que se midió la intensidad promedio del silbido (Gráfica 5). Medida en decibeles (dB)
Intensidad promedio del ruido ambiental para RSRmin	Valor máximo de la energía promedio de un segundo de ruido ambiental que no incluía ruido de camarón dentro del ancho de banda del silbido (Gráfica 5). Medida en decibeles (dB).
Intensidad promedio del silbido	Energía promedio contenida en el silbido (Gráfica 4). Medida en decibeles (dB).
ms	milisegundos, una milésima de un segundo. Unidad de medida utilizada para la duración de los silbidos.
Parámetros de los silbidos	Características y repertorio de los contornos de los silbidos.
Pulsos de ecolocalización	Sonidos de alta frecuencia, gran ancho de banda y corta duración producidos para elucidar la localización de objetos y para la búsqueda de alimento (Gráfica 1A).
Pulso explosivo	Sonidos de alta frecuencia, gran ancho de banda y corta duración con un intervalo de producción muy corto (Gráfica 1B), comúnmente llamados graznidos, ladridos o chillidos.
Raven 1.2.1	Programa de cómputo utilizado para obtener los valores de los parámetros medidos a los silbidos.
Repertorio de los silbidos	Conjunto de grupos en los que fueron catalogados los silbidos de acuerdo a la forma que presentaba su contorno.
RSR	Relación señal-ruido. Obtenida a partir de la resta de la intensidad promedio del ruido ambiental a la del silbido. Medido en decibeles (dB).

RSRmax	Relación señal-ruido máxima. Obtenida a partir de restarle a la intensidad promedio del silbido la intensidad promedio del ruido ambiental medido a la misma frecuencia a la que se midió la intensidad promedio del silbido.
RSRmin	Relación señal-ruido mínima. Obtenida a partir de restarle a la intensidad promedio del silbido el valor máximo de la intensidad promedio del ruido ambiental dentro del ancho de banda del silbido.
Silbidos	Sonidos de frecuencia modulada producidos por los delfines utilizados principalmente para mantener la comunicación entre individuos (Gráfica 1C).
Silbido firma	Silbido con un contorno específico utilizado por el delfín principalmente en situaciones de aislamiento y que es característico de cada individuo.
t	Prueba de "t" de Student. Prueba estadística para comparar los promedios entre dos muestras, considerando como hipótesis nula que las dos muestras son iguales. Por ello, si la p es menor a 0.05 se rechaza la hipótesis nula, por lo que existen diferencias en las muestras. Utilizada para conocer si existían diferencias entre las características medidas de acuerdo a la calidad de los silbidos analizados y para comparar los dos análisis realizados.
X2	Prueba de Chi cuadrada. Prueba estadística para comparar la distribución de valores en categorías pertenecientes a dos muestras, considerando una muestra hipotética donde la distribución de valores en las categorías es equitativa, es decir, no existe una diferencia en la distribución de valores de acuerdo a la(s) categoría(s) según el número de observaciones. Por ello, la hipótesis nula es que los datos observados no tienen una distribución equitativa. Así, si la p es menor a 0.05 se rechaza la hipótesis nula, por lo que no existen diferencias entre las muestras. Utilizada para conocer si existían diferencias en el repertorio de silbidos de acuerdo a la calidad de los silbidos y para comparar los dos análisis realizados.

• **8. LITERATURA CITADA.**

Anderson, H. T. (Ed.) (1969). The biology of marine mammals. Pergamon Press, EE.UU.A. 253 pp.

Au, W. W. L. (1993). The sonar of dolphins. Springer Verlag, EE.UU.A. 270 pp.

Au, W. W. L. (2002). Echolocation. Pp. 358-367. En: Perrin, W., Würsig, B. y Thewisen, J.G.M. (Eds.) Encyclopedia of Marine Mammals. Academic Press, EE.UU.A. 1414 pp.

Bazúa Durán, M. C. (1997). Comparación de vocalizaciones entre distintos grupos de delfines (*Tursiops truncatus*) del Golfo de México. Tesis de Maestría, Unidad Académica de los Ciclos Profesional y de Posgrado del Colegio de Ciencias y Humanidades, Universidad Nacional Autónoma de México, México. 274 pp.

Bazúa-Durán, C. (2004). Differences in the whistle characteristics and repertoire of Bottlenose and Spinner Dolphins. Anais da Academia Brasileira de Ciencias. 76(2), 386-392.

Bazúa-Durán, C. (2005). The acoustic repertoire of bottlenose dolphins (*Tursiops truncatus*) from the southern Gulf of Mexico. Journal of the Acoustical Society of America. 117(4 Pt 2), 2469.

Bazúa-Durán, C. y Au, W. W. L. (2002). The whistles of Hawai`ian Spinner Dolphins. Journal of the Acoustical Society of America. 112(6), 3064-3072.

Berta, A. y Sumich, J. (1999). Marine Mammals. Evolutionary Biology. Academic Press, EE.UU.A. 494 pp.

Bradbury, J. W. y Vehrencamp, S. L. (1998). Principles of animal communication. Sinauer, EE.UU.A. 882 pp.

Caldwell, M. C., Caldwell, D. K. y Tyack, P. L. (1990). A review of the signature whistle hypothesis for the Atlantic bottlenose dolphin, *Tursiops truncatus*. Pp. 199-234. En: Leatherwood, S. y Reeves, R. (Eds). The bottlenose dolphin: Recent Progress in research. Academic Press, EE.UU.A. 653 pp.

Cockrum, E. L. (1962). Introduction to mammalogy. Ronald Press Company, EE.UU.A. 370 pp.

Connor, R. C., Wells, R., Mann, J. y Read, A. (2000). The bottlenose dolphin: social relationships in a fission-fusion society. Pp. 91-126. En: Mann, J., Connor, R. C., Tyack, P. L. y Whitehead, H. (Eds.) Cetacean societies: Field studies of dolphins and whales. University of Chicago Press, EE.UU.A. 448 pp.

Cranford, T. W., Van Bonn, W. G., Chaplin, M. S., Carr, J., Kamolnick, T. A., Carder, D. A. y Ridgway, S. H. (1997). Visualizing dolphin sonar signal generation

using high-speed videoendoscopy. Journal of the Acoustical Society of America, 102(5), 3123.

Delgado Estrella, A. (1991). Algunos aspectos de la ecología de poblaciones de las toninas *Tursiops truncatus*, Montagü 1821, en la Laguna de Términos y Sonda de Campeche, México. Tesis de Licenciatura en Biología, Escuela Nacional de Estudios Profesionales Iztacala, Universidad Nacional Autónoma de México, México. 150 pp.

Delgado Estrella, A. (2002). Comparación de parámetros poblacionales de las toninas, *Tursiops truncatus*, en la región sureste del Golfo de México (Estados de Tabasco, Campeche, Yucatán y Quintana Roo). Tesis de Doctorado, Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México, México. 160 pp.

Dudzinski, K. M., Thomas, J. A. y Douaze, E. (2002). Communication. Pp. 243-268. En: Perrin, W. F., Würsig, B. y Thewissen, J. G. M. (Eds). Encyclopedia of marine mammals. Academic Press, EE.UU.A. 1414 pp.

Frankel, A. (2002). Sound Production. Pp.1126-1138. En: Perrin, W. F., Würsig, B., y Thewissen, J. G. M. (Eds). Encyclopedia of marine mammals. Academic Press, EE.UU.A. 1414 pp.

Gutiérrez Estrada, M. y Castro del Río, A. (1988). Origen y desarrollo geológico de la Laguna de Términos. Pp. 98-110. En: Yáñez-Arancibia, A. y Day, J. W. (Eds.)

Ecología de los Ecosistemas costeros en el Sur del Golfo de México: La Región de la Laguna de Términos. Editorial Universitaria, México. 518 pp.

Harrison, R. y Brayden, M. M. (1988). Whales, Dolphins and Porpoises. Intercontinental Publishing Corporation, EE.UU.A. 245 pp.

Hauser, M. D. y Marler, P. (1992). How do and should studies of communication affect interpretation of child phonological development? Pp. 91-129. En: Ferguson, C. A., Menn, L. y Stoel-Gammon, C. (Eds.). Phonological Development: Models, Research, Implications (Communicating by Language). York Press, EE.UU.A. 693 pp.

Hemilä, S., Nummela, S. y Reuter, T. (1999). A model of the odontocete middle ear. Hearing Research. 133(1-2), 82-97.

Herman, L. M. (1980). Cetacean behavior: Mechanisms and functions. Wiley, EE.UU.A. 463 pp.

Herzing, D. L. (1996). Vocalizations and associated underwater behavior of free-ranging Atlantic spotted dolphins, *Stenella frontalis* and bottlenose dolphins, *Tursiops truncatus*. Aquatic Mammals. 22(2), 61-79.

Janik, V. (1999). Pitfalls in the categorization of behavior: a comparison of dolphin whistle categorization methods. Animal Behavior. 57(1), 133-143.

Janik, V. (2000). Whistle matching in wild bottlenose dolphins (*Tursiops truncatus*). Science. 289(5483), 1355-1357.

Janik, V. y Slater, P. (1998). Context-specific use suggests that bottlenose dolphin signature whistles are cohesion calls. Animal Behaviour. 56(4), 829-838.

Janik, V., Dehnhardt, G. y Todt, D. (1994). Signature whistle variations in a bottlenosed dolphin, *Tursiops truncatus*. Behavioral Ecology and Sociobiology. 35(4), 243-248.

Leatherwood, S., Reeves, R. y Foster, L. (1983). Sierra club handbook of whales and dolphins. Sierra Club Books, EE.UU.A. 302 pp.

Marshall, D. (1987). Zoología de cordados. 7a ed. Editorial Reverté, España. 290 pp.

McCowan, B., Reiss, D. y Gubbins, C. (1998). Social familiarity influences whistles acoustic structure in adult female bottlenose dolphins (*Tursiops truncatus*). Aquatic Mammals. 24(1), 27-40.

McCowan, B. y Reiss, D. (2001). The fallacy of 'signature whistles' in bottlenose dolphins: a comparative perspective of 'signature information' in animal vocalizations. Animal Behaviour, 62(6), 1151-1162.

Norris, K. S., Dormer, K. J., Pegg, J. y Liese, G. T. (1971). The mechanism of sound production and air recycling in porpoises: a preliminary report. Resúmenes del Annual Seventh Proceeding of the Conference on Biological Sonar and Diving Mammals. 23 y 24 Mayo, Menlo Park, EE.UU.A. P. 113.

Nummela, S., Reuter, T., Hemilä, S., Holberg, P. y Pauku, P. (1999). The anatomy of the killer whale middle ear (*Orcinus orca*). Hearing Reseach. 133(1-2), 61-70.

Randall, D., Burggren, W. y Fench, K. (1998). Eckert. Fisiología Animal. 4a. ed. McGraw Hill Interamericana, España. 790 pp.

Reiss, D., McCowan, B. y Marino, L. (1997). Communicative and other cognitive characteristics of bottlenose dolphins. Trends in Cognitive Sciences. 1(4), 140-145.

Reynolds, J. E. y Rommell, R. (1999). The biology of marine mammals. Smithsonian Institution Press, EE.UU.A. 578 pp.

Rice, D. (2002). Classification. Pp. 231-248. En: Perrin, W., Würsig, B. y Thewisen, J.G.M. (Eds.) Encyclopedia of Marine Mammals. Academic Press, EE.UU.A. 1414 pp.

Ridgway, S. H. (1990). The Auditory Central Nervous System of Dolphins. Pp. 273-293. En: Au, W. W. L., Popper, A. y Fay, R. (Eds.) Hearing by Whales and Dolphins. Springer Verlag, EE.UU.A. 485 pp.

Sayigh, L., Tyack, P., Wells, R., Solows, A., Irvine, A. y Scott, M. (1998). Individual recognition in wild bottlenose dolphins: a field test using playback experiments. Animal Behaviour. 57(1), 41-50.

Smolker, R. A., Mann, J. y Smuts, B. B. (1993). Use of signature whistles during separations and reunions by wild bottlenose dolphin mothers and infants. Behavioral Ecology and Sociobiology. 33(6), 393-402.

Tyack, P. (1986). Whistles repertoires of two bottlenose dolphins, *Tursiops truncatus*: mimicry of signature whistles? Behavioral Ecology and Sociobiology. 18(4), 251-257.

Vater, M. y Kössl, M. (2004). Auditory System in Echolocating Mammals. The Ears of Whales and Bats. Pp. 89-98. En: Thomas, J., Moss, C. y Vater, M. (Eds.) Echolocation in Bats and Dolphins. University of Chicago Press, EE.UU.A. 604 pp.

Vauclair, J. (1996). Animal cognition: An introduction to modern comparative psychology. Harvard University Press, EE.UU.A. 222 pp.

Wang Ding, Würsig, B. Evans, W. E. (1995). Whistles of bottlenose dolphins: comparison among populations. Aquatic Mammals 21(1), 65-77.

Wells, R. S. y Scott, M. D. (1999). Bottlenose dolphin-*Tursiops truncatus* (Montagü,1821). Pp. 137-182. En: Ridgway, S. H. y Harrison, R. (Eds.) Handbook of marine mammals, vol. 6. The second book of dolphins and porpoises. Academic Press, EE.UU.A. 486 pp.

Yáñez-Arancibia, A. y Day, J. W. (1982). Ecological Characterization of Terminos Lagoon, a tropical lagoon-estuarine system in the southern Gulf of México. Pp. 431-440. En: Lasserre, P. y Postma, H. (Eds.) Coastal Lagoons. Oceanologica Acta. Editorial Universitaria, México. 462 pp.

Yáñez-Arancibia, A., Lara-Domínguez, A. L., Chavance, P. y Flores Hernández, D. (1983). Environmental behavior of Terminos Lagoon ecological system, Campeche, México. An. Inst. Cienc. Mar Limnol. UNAM. 10(1), 137-176.

Yáñez-Arancibia, A., Lara-Domínguez, A. L., Chavance, P. y Flores Hernández, D. (1988). Comportamiento ambiental de la Laguna de Términos. Pp. 27-40. En: Yáñez-Arancibia, A. y Day, J. W. (Eds.) Ecología de los Ecosistemas Costeros en el Sur del Golfo de México: La Región de la Laguna de Términos. Editorial Universitaria, México. 518 pp.

Zúñiga Téllez, M. L. (1977). Estudio anatómico-fisiológico y etológico de *Tursiops truncatus*. Tesis de Licenciatura en Biología, Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México, México. 95 pp.