



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

POSGRADO EN CIENCIAS BIOLÓGICAS

FACULTAD DE CIENCIAS

ANÁLISIS DE LOS SILBIDOS DEL DELFÍN
Tursiops truncatus
CON ÉNFASIS EN LA DETERMINACIÓN DE
PARÁMETROS ACÚSTICOS QUE PERMITAN
LA DISCRIMINACIÓN INDIVIDUAL

TESIS

QUE PARA OBTENER EL GRADO ACADÉMICO DE

DOCTORA EN CIENCIAS

P R E S E N T A

REBECA MARÍA LÓPEZ RIVAS

TUTORA PRINCIPAL DE TESIS: DRA. MARÍA DEL CARMEN BAZÚA DURÁN

COMITÉ TUTOR: DRA. ELVA GUADALUPE ESCOBAR BRIONES
DR. LUIS MEDRANO GONZÁLEZ

TUTOR INVITADO: DR. VOLKER B. DEEKE

MÉXICO, D.F.

NOVIEMBRE, 2010



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE MÉXICO

POSGRADO EN CIENCIAS BIOLÓGICAS
FACULTAD DE CIENCIAS
DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO

OFICIO FCIE/DEP/522/10

ASUNTO: Oficio de Jurado

Dr. Isidro Ávila Martínez
Director General de Administración Escolar, UNAM
Presente

Me permito informar a usted que en la reunión ordinaria del Comité Académico del Posgrado en Ciencias Biológicas, celebrada el día 9 **de agosto de 2010**, se aprobó el siguiente jurado para el examen de grado de DOCTORA EN CIENCIAS del (la) alumno (a) **LÓPEZ RIVAS REBECA MARÍA** con número de cuenta **86216814** con la tesis titulada: "**Análisis de los silbidos del delfin *Tursiops truncatus* con énfasis en la determinación de parámetros acústicos que permitan la discriminación individual**", realizada bajo la dirección del (la) **DRA. MARÍA DEL CARMEN BAZÚA DURÁN**:

Presidente:	DRA. ELVA GUADALUPE ESCOBAR BRIONES
Vocal:	DR. EMILIO ARCH TIRADO
Vocal:	DR. FERNANDO ALFREDO CERVANTES REZA
Vocal:	DR. CARLOS ALBERTO LARA RODRÍGUEZ
Secretario:	DRA. MARÍA DEL CARMEN BAZÚA DURÁN
Suplente:	DR. ADOLFO GERARDO NAVARRO SIGÜENZA
Suplente:	DR. LUIS MEDRANO GONZÁLEZ

Sin otro particular, me es grato enviarle un cordial saludo.

Atentamente
"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"
Cd. Universitaria, D.F. a 19 de octubre de 2010.

Dr. Juan Nuñez Farfán
Coordinador del Programa



AGRADECIMIENTOS

Al Posgrado en Ciencias Biológicas de la UNAM por la formación recibida y por el apoyo institucional y económico brindado para la presentación de los resultados de este trabajo en distintos foros nacionales e internacionales.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, CONACYT por el apoyo recibido a través de la beca para estudios de doctorado.

La investigación plasmada en este documento fue financiada por los proyectos IN105006-3 e IN120609-3 del Programa de Apoyo a Proyectos de Investigación e Innovación Tecnológica, PAPIIT de la UNAM y por el proyecto 57775 de los Apoyos Integrales para la Formación de Doctores en Ciencias, convocatoria 2006 del CONACYT, a través de la Dra. María del Carmen Bazúa Durán.

A la Dra. María del Carmen Bazúa Durán, por la confianza depositada en este proyecto, por la dirección del mismo y el apoyo recibido para llevarlo a buen término.

Al Dr. Volker B. Deecke, por facilitarme las rutinas en lenguaje MATLAB para realizar el análisis de los silbidos, así como por el entrenamiento recibido para poder hacer un uso adecuado de las rutinas.

A la Dra. Elva Guadalupe Escobar Briones, al Dr. Luis Medrano González, miembros del Comité Tutor, y al Dr. Volker B. Deecke, tutor invitado, por la asesoría recibida para el desarrollo de este trabajo.

A mis sinodales, Dra. Elva Guadalupe Escobar Briones, Dr. Emilio Arch Tirado, Dr. Luis Medrano González, Dr. Fernando Alfredo Cervantes Reza, Dr. Carlos Alberto Lara Rodríguez y Dr. Adolfo Gerardo Navarro Sigüenza, por la revisión y observaciones hechas al presente documento.

A Six Flags México (REINO AVENTURA, S.A .de C.V.) por las facilidades otorgadas para la grabación de los delfines en sus instalaciones, en especial a las encargadas del delfinario, las M.V.Z. Liliana Aurora Ramos Garduño, Lissette Benitez Araiza y Cristina Correro, a la Biól. Nina Valeria Luna Valiente y a todo el personal del acuario que amablemente me apoyó.

A CONVIMAR, S.A. de C.V. por las facilidades otorgadas para la grabación de los delfines en su delfinario de la 2ª sección del parque de Chapultepec, delfinario Atlantis, en especial al M.V.Z. José Luis Solórzano Velasco por su apoyo y por la confianza que tuvo en este proyecto, así como al personal del delfinario quienes siempre me dieron la mano con una sonrisa.

Al Ing. Ricardo Dorantes Escamilla del CCADET, UNAM, por el apoyo técnico para el buen funcionamiento del equipo de grabación.

Al Ing. Mario Arturo Pérez Rangel, al M. en C. David Salinas Torres y al M. en C. Ubaldo Guzmán Villa, por su apoyo técnico en cómputo.

A los alumnos que participaron durante la recolección y procesamiento de datos: Edith Julieta Sarmiento Ponce, Leslie Nayeli Cid González, Sandra Delfín Azuara, Alexander Solís Cruz y Rey Galicia Palacios.

Al todo el personal del Posgrado en Ciencias Biológicas, en especial al Dr. Juan Núñez Farfán, Lilia Judith Espinosa Sánchez, Lilia Jiménez Solís, Dr. Ernesto Armando Rodríguez Reyes y al C.P. María de Jesús Márquez Salazar por la calidez humana que me brindaron siempre que requerí de su atención.

A la Dra. Deni Claudia Rodríguez Vargas, Jefa de la División de Estudios de Posgrado de la Facultad de Ciencias, un especial agradecimiento por su gran apoyo y atinados consejos.

A mis compañeros Leslie, Julieta, Daniel y Alejandro, por las horas que pasamos trabajando juntos; a Alejandro por su apoyo con programas de cómputo y a Leslie y Julieta por el gran esmero que pusieron más allá de su servicio social, colaborando como equipo, más que como estudiantes, como amigas.

A mis “sujetos de investigación”, los delfines: extraordinarias criaturas que merecen el esfuerzo de este estudio y a todas las personas que hacen posible su estancia en la Ciudad de México, una labor ardua, que no siempre es bien comprendida, pero que considero importante para el conocimiento de la especie.

¡GRACIAS!

*A DIOS, POR LA VIDA Y POR PERMITIRME COMPARTIRLA CON ALMAS
EXTRAORDINARIAS:*

A MIS PADRES, Rebeca y Emilio por su ejemplo y el apoyo que siempre me han brindado, por enseñarme a luchar por alcanzar mis metas y disfrutar la vida.

A MI MAMÁ, por la revisión de este manuscrito, por hacerme fuerte en casa siempre que yo he tenido que trabajar lejos... y por ser mi mejor amiga, apoyándome en todo momento a alcanzar mis metas, sin importar que sean lejanas, difíciles o un poco locas.

A MIS HIJOS, David y Gerardo por su paciencia de dejar para otro tiempo cosas divertidas cuando mamá estaba “ocupada con su tesis”; por su alegría, por ser el motivo perfecto de seguir disfrutando la vida como niña, por ser mi fuerza y razón de seguir siempre adelante, siempre aprendiendo cosas nuevas.

A MI HERMANO Emilio que ha estado conmigo en las buenas y las no tan buenas, siempre compartiendo una sonrisa, que ahora se ha triplicado, con Lily y Vicky.

A MI “MAMI”, mi abuela Isabel, que gracias a Dios todavía tengo y con quien siempre he contado.

A MIS TIOS, Gris, Sarita, Francisco, Alfonso y Guillermo quienes siempre me han dado la mano.

A MI COAUTOR de nuevos y emocionantes proyectos, Pedro, que nunca se cansa de “echarme porras” y de recordarme que “yo siempre puedo”, por el gran apoyo que ha sido y por lo que hemos compartido en tiempos buenos y en tiempos difíciles.

A MIS AMIGAS Adelaida, Hortensia, Paty y Rita, que siempre se han dado tiempo de compartir lo dulce y lo amargo que encontramos en el camino, con quienes he comprobado que las amigas curan y los logros se disfrutan más compartiéndolos!

A MI FAMILIA,
Con todo mi amor y agradecimiento

"Sé bien que lo que realizamos es una gota en el océano.

Pero si la gota le faltase, el océano carecería de algo."

"La paz y la guerra empiezan en el hogar. Si de verdad queremos que haya paz en el mundo, empecemos por amarnos unos a otros en el seno de nuestras propias familias. Si queremos sembrar alegría en derredor nuestro precisamos que toda familia viva feliz."

Madre Teresa, M.C.

ÍNDICE

	Pág.
Agradecimientos	
Dedicatoria	
Índice	<i>i</i>
Índice de tablas	<i>iv</i>
Índice de figuras	<i>x</i>
Resumen	<i>xxi</i>
Abstract	<i>xxiii</i>
Capítulo I. Introducción a la bioacústica en delfines	
I.1. Conceptos acústicos básicos	1
I.2. Importancia del estudio de <i>Tursiops truncatus</i>	5
I.2.1. Estudios ecológicos en poblaciones de <i>Tursiops truncatus</i>	6
I.2.2. Trascendencia de los estudios bioacústicos en cetáceos	7
I.3. Audición y producción acústica en <i>Tursiops truncatus</i>	8
I.3.1. Evolución en cetáceos	8
I.3.2. Audición	9
I.3.2.1. Rangos de audición	9
I.3.2.2. Sensibilidad auditiva en <i>Tursiops truncatus</i>	10
I.3.3. Producción acústica	10
I.3.3.1. Mecanismos de producción acústica en <i>Tursiops truncatus</i>	11
I.3.3.2. El repertorio de sonidos de <i>Tursiops truncatus</i>	15
I.3.3.3. Características acústicas de los silbidos	16
I.4. Planteamiento del problema	19
I.5. Objetivos	25
I.5.1. Objetivo general	25
I.5.2. Objetivos particulares	25
I.6. Sitios y organismos de estudio	26
I.6.1. Delfinario 1: “Six Flags”	26
I.6.2. Delfinario 2: “Atlantis”	30

Capítulo II. Localización de la fuente sonora y adjudicación de los silbidos

II.1. Introducción	33
II.1.1. Método de la formación del patrón del haz	36
II.1.2. Método de las hipérbolas	41
II.1.3. Método de Cato con dos hidrófonos	43
II.2. Metodología	46
II.2.1. Localización acústica de la fuente sonora	46
II.2.1.1. Estudio prospectivo	46
II.2.1.2. Método de localización utilizado	55
II.2.1.3. Cálculo de la velocidad de propagación del sonido	56
II.2.1.4. Registro de audio	57
II.2.1.5. Cálculo del tiempo de retraso	61
II.2.2. Identificación del delfín emisor	62
II.2.2.1. Registro de video	64
II.2.2.2. Adjudicación de los silbidos	66
II.3. Resultados	68
II.3.1. Delfinario 1: “Six Flags”	68
II.3.2. Delfinario 2: “Atlantis”	75
II.4. Discusión	77
II.5. Conclusiones	81

Capítulo III. Análisis de los silbidos de *Tursiops truncatus* en cautiverio

III.1. Introducción	82
III.2. Metodología	84
III.2.1. Selección de silbidos	84
III.2.2. Ocurrencia de silbidos	86
III.2.3. Caracterización del repertorio de silbidos	87
III.2.3.1. Clasificación de los contornos de los silbidos	87
III.2.3.2. Tamaño del repertorio de silbidos	91
III.2.3.3. Uso del repertorio de silbidos	91
III.2.3.4. Índice de riqueza del uso del repertorio de silbidos	92
III.2.3.5. Estereotipia en los silbidos	94
III.3. Resultados Delfinario 1: “Six Flags”	95
III.3.1. Ocurrencia de silbidos Delfinario 1: “Six Flags”	97

	Pág.
III.3.2. Repertorio de silbidos Delfinario 1: “Six Flags”	102
III.3.2.1. Clasificación manual	102
III.3.2.2. Clasificación automatizada	108
III.3.3. Uso de los silbidos Delfinario 1: “Six Flags”	116
III.3.4. Índice de riqueza del uso de los silbidos Delfinario 1: “Six Flags”	131
III.3.5. Estereotipia en los silbidos Delfinario 1: “Six Flags”	133
III.4. Resultados Delfinario 2: “Atlantis”	137
III.4.1. Ocurrencia de silbidos Delfinario 2: “Atlantis”	137
III.4.2. Repertorio de silbidos Delfinario 2: “Atlantis”	143
III.4.3. Uso de los silbidos Delfinario 2: “Atlantis”	149
III.4.4. Índice de riqueza del uso de los silbidos Delfinario 2: “Atlantis”	155
III.4.5. Estereotipia en los silbidos Delfinario 2: “Atlantis”	155
III.5. Discusión	157
III.5.1. Discusión Delfinario 1: “Six Flags”	157
III.5.2. Discusión Delfinario 2: “Atlantis”	164
III.5.3. Comparación entre delfinarios	168
III.6. Conclusiones	171
Capítulo IV. Comportamiento de <i>Tursiops truncatus</i> en cautiverio	
IV.1. Introducción	174
IV.2. Metodología	174
IV.3. Resultados	177
IV.3.1. Comportamiento no acústico Delfinario 1: “Six Flags”	177
IV.3.2. Comportamiento no acústico Delfinario 2: “Atlantis”	183
IV.3.3. Comparación del comportamiento no acústico Delfinario 1: “Six Flags” vs. Delfinario 2: “Atlantis”	188
IV.3.4. Silbidos relacionados con el comportamiento no acústico Delfinario 1: “Six Flags”	188
IV.4.2.1. Silbidos relacionados con el comportamiento considerando la clasificación manual	189
IV.4.2.2. Silbidos relacionados con el comportamiento considerando la clasificación automatizada	194
IV.4. Discusión	202
IV.5. Conclusiones	208
Capítulo V. Comentarios finales	209

Literatura citada	213
Apéndice I. Clasificación automatizada de silbidos: extractor de contornos “Beluga” y red neuronal “ARTwarp”	221
AI.1. Operación del extractor de contornos “Beluga”	221
AI.2. Operación de la red neuronal “ARTwarp”	227

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.1. Esfuerzo de muestreo en el delfinario 1 “Six Flags”, mostrando el estanque en el que se encontraban los delfines, así como las condiciones fisicoquímicas del agua del estanque durante cada día de muestreo.	27
Tabla 1.2. Esfuerzo de muestreo en el delfinario 2 “Atlantis”, mostrando el estanque en el que se encontraban los delfines, así como las condiciones fisicoquímicas del agua del estanque durante cada día de muestreo.	31
Tabla 2.1. Eficiencia teórica de un arreglo de dos hidrófonos ubicados a diferentes distancias considerando una precisión teórica de 0.044ms del programa de cómputo usado para calcular el tiempo de retraso y una velocidad de propagación del sonido en el agua de 1516 m/s.	50
Tabla 2.2. Valores de la velocidad de propagación del sonido en el agua en m/s calculados utilizando la ecuación de Medwin (1975) considerando una profundidad de 2 m.	58
Tabla 2.3. Características del equipo del sistema de grabación acústica utilizado para la localización de la fuente sonora en el delfinario 1 “Six Flags” durante cada día de muestreo, mostrando la velocidad de propagación del sonido, c calculada, el tipo de hidrófonos utilizados, la distancia a la que se separaron los hidrófonos del arreglo y la grabadora utilizada, especificando la tasa de muestreo y el intervalo dinámico de las grabaciones digitales realizadas.	59
Tabla 2.4. Características del equipo del sistema de grabación acústica utilizado para la localización de la fuente sonora en el delfinario 2 “Atlantis” durante cada día de muestreo, mostrando la velocidad de propagación del sonido, c calculada, el tipo de hidrófonos utilizados, la distancia a la que se separaron los hidrófonos del arreglo y la grabadora utilizada, especificando la tasa de muestreo y el intervalo dinámico de las grabaciones digitales realizadas.	60

	Pág.
Tabla 2.5. Esfuerzo de muestreo en el delfinario 1 “Six Flags”, mostrando el tiempo de grabación y el número de silbidos obtenidos durante los días en que se tomaron los datos utilizados para tratar de calcular la ubicación de la fuente sonora.	69
Tabla 2.6. Número de silbidos grabados en el delfinario 1: “Six Flags” para los que no se pudo identificar la fuente sonora utilizando el método acústico-visual combinado de acuerdo a la distancia entre los hidrófonos del arreglo, indicando el porcentaje que representan del total de los 946 silbidos analizados.	69
Tabla 2.7. Número de silbidos grabados en el delfinario 1 “Six Flags” para los que fue posible e imposible localizar la fuente sonora de acuerdo a la distancia entre los hidrófonos del arreglo, indicando el porcentaje que representan del total de silbidos analizados y el esfuerzo de grabación para cada arreglo.	71
Tabla 2.8. Eficiencia en la localización de la fuente sonora y adjudicación del delfín silbante de los silbidos grabados en el delfinario 1 “Six Flags” de acuerdo a la distancia entre los hidrófonos del arreglo. A = adjudicaciones realizadas cuando ambos delfines no estaban ubicados del mismo lado del estanque, es decir, uno en el lado derecho y otro en el lado izquierdo; B = adjudicaciones realizadas cuando los delfines estaban ubicados del mismo lado del estanque, es decir, ambos en el lado derecho o en el lado izquierdo.	72
Tabla 2.9. Número de silbidos grabados en el delfinario 1: “Six Flags” para los que no se pudo identificar el delfín silbante utilizando el método acústico-visual combinado de acuerdo a la distancia entre los hidrófonos del arreglo, indicando el porcentaje que representan del total de los 946 silbidos analizados.	72
Tabla 2.10. Número de silbidos adjudicados al delfín silbante en el delfinario 1 “Six Flags” utilizando el método acústico-visual combinado de acuerdo a la distancia entre los hidrófonos del arreglo, indicando el porcentaje que representan del total de silbidos analizados, que fue de 946. A = número de adjudicaciones realizadas cuando ambos delfines no estaban ubicados del mismo lado del estanque, es decir, uno en el lado derecho y otro en el lado izquierdo; B = número de adjudicaciones realizadas cuando los delfines estaban ubicados del mismo lado del estanque, es decir, ambos en el lado derecho o en el lado izquierdo.	73
Tabla 2.11. Número de silbidos adjudicados al delfín silbante en el delfinario 1: “Six Flags”, indicando el método mediante el cual fueron adjudicados. Los porcentajes son con respecto al total de silbidos analizados, que fue de 946.	74
Tabla 2.12. Esfuerzo de muestreo en el delfinario 2: “Atlantis, mostrando los días durante los que se tomaron los datos, el tiempo de grabación y número de silbidos obtenidos	76

	Pág.
Tabla 3.1. Nomenclatura de la clasificación manual de los silbidos que se basó en líneas o curvas observadas en el espectrograma de la modulación en la frecuencia del silbido para generar un código usando letras que se combinaron para describir la forma del contorno del silbido analizado.	89
Tabla 3.2. Nomenclatura de la clasificación automática de los silbidos utilizando una subrutina de programación en lenguaje Matlab. Se muestran las 120 categorías o tipos de silbidos encontrados para el delfinario 1: "Six Flags" utilizando la clasificación automatizada	90
Tabla 3.3. Esfuerzo de muestreo en el delfinario 1: "Six Flags", mostrando los días durante los que se tomaron datos, el tiempo de grabación, el número de minutos con silbidos, el número de minutos grabados, el número de silbidos obtenidos y las tres tasas de emisión de silbidos calculadas.	96
Tabla 3.4. Tabla de ocurrencia en el delfinario 1: "Six Flags" del número de minutos que tenía un número específico de silbidos, mostrando los datos de acuerdo al estanque dónde se encontraban los delfines.	100
Tabla 3.5. Resultados de la prueba de X^2 de la comparación de la tasa de emisión de silbidos como número de silbidos por cada minuto durante cada cambio de estanque en el delfinario 1: "Six Flags".	101
Tabla 3.6. Espectrogramas de los 9 tipos de silbidos exclusivos del delfín 1 del delfinario 1: "Six Flags" obtenidos con la clasificación manual.	104
Tabla 3.7. Espectrogramas de los 10 tipos de silbidos del delfín 1 y no adjudicados del delfinario 1: "Six Flags" obtenidos con la clasificación manual.	104
Tabla 3.8. Espectrogramas de los 4 tipos de silbidos exclusivos del delfín 2 del delfinario 1: "Six Flags" obtenidos con la clasificación manual.	105
Tabla 3.9. Espectrogramas de los 2 tipos de silbidos del delfín 2 y no adjudicados del delfinario 1: "Six Flags" obtenidos con la clasificación manual.	105
Tabla 3.10. Espectrogramas de los 14 tipos de silbidos exclusivos no adjudicados del delfinario 1: "Six Flags" obtenidos con la clasificación manual.	105
Tabla 3.11. Espectrogramas de los 21 tipos de silbidos compartidos por ambos delfines del delfinario 1: "Six Flags" obtenidos con la clasificación manual.	106
Tabla 3.12. Espectrogramas de los 30 tipos de silbidos exclusivos del delfín 1 del delfinario 1: "Six Flags" obtenidos con la clasificación automatizada.	110

	Pág.
Tabla 3.13. Espectrogramas de los 20 tipos de silbidos del delfín 1 y no adjudicados del delfinario 1: “Six Flags” obtenidos con la clasificación automatizada.	111
Tabla 3.14. Espectrogramas de los 12 tipos de silbidos exclusivos del delfín 2 del delfinario 1: “Six Flags” obtenidos con la clasificación automatizada.	112
Tabla 3.15. Espectrogramas de los 7 tipos de silbidos del delfín 2 y no adjudicados del delfinario 1: “Six Flags” obtenidos con la clasificación automatizada.	112
Tabla 3.16. Espectrogramas de los 26 tipos de silbidos no adjudicados del delfinario 1: “Six Flags” obtenidos con la clasificación automatizada.	113
Tabla 3.17. Espectrogramas de los 26 tipos de silbidos compartidos por ambos delfines del delfinario 1: “Six Flags” obtenidos con la clasificación automatizada.	114
Tabla 3.18. Ocurrencia de los distintos tipos de silbidos obtenidos con la clasificación manual para el delfinario 1: “Six Flags”, mostrando los silbidos totales, los silbidos por delfín (D1 y D2) y los silbidos no adjudicados (NA). N = número de silbidos.	117
Tabla 3.19. Espectrogramas de los 14 tipos de silbidos más usados por ambos delfines del delfinario 1: “Six Flags” obtenidos con la clasificación manual (que representan el 90% de los silbidos).	118
Tabla 3.20. Ocurrencia de los distintos tipos de silbidos obtenidos con la clasificación automatizada para el delfinario 1: “Six Flags”, mostrando los silbidos totales, los silbidos por delfín (D1 y D2) y los silbidos no adjudicados (NA). N = número de silbidos.	119
Tabla 3.21. Resultados de la prueba de X^2 de la comparación del número de silbidos de cada tipo emitidos por cada delfín del delfinario 1: “Six Flags” de acuerdo a la clasificación utilizada.	127
Tabla 3.22. Ocurrencia de los distintos tipos de silbidos obtenidos con la clasificación manual cuando los delfines del delfinario 1: “Six Flags” cambiaron de estanque (oval 1, cambio de estanque, rectangular y oval 2), mostrando los silbidos por delfín (D1 y D2) y los no adjudicados (NA).	128
Tabla 3.23. Ocurrencia de los distintos tipos de silbidos obtenidos con la clasificación automatizada cuando los delfines del delfinario 1: “Six Flags” cambiaron de estanque (oval 1, cambio de estanque, rectangular y oval 2), mostrando los silbidos por delfín (D1 y D2) y los no adjudicados (NA).	129
Tabla 3.24. Resultados de la prueba de X^2 de la comparación del número de silbidos de cada tipo emitidos durante los cambios del estanque del delfinario 1: “Six Flags” de acuerdo a la clasificación utilizada.	131

	Pág.
Tabla 3.25. Índice de riqueza o índice de diversidad de Shannon H' y equitabilidad E para todos los silbidos analizados (repertorio conjunto), para los silbidos de cada delfín (repertorio individual) y para los silbidos de acuerdo al estanque en que se encontraban los delfines del delfinario 1: "Six Flags" para las clasificaciones manual y automatizada. N = número de silbidos, S = número de tipos de silbidos, H_{\max} = valor máximo de H' que se puede obtener para una S dada.	132
Tabla 3.26. Estereotipia de los tipos de silbidos $Cxc1$ y $Cxc2$, evaluada como porcentaje de similitud, para los dos delfines del delfinario 1: "Six Flags" ($D1$ y $D2$), mostrando los valores para los diferentes días de grabación y para varios días en conjunto. N = número de silbidos.	135
Tabla 3.27. Mediciones de los parámetros acústicos de los silbidos tipo $Cxc1$ y $Cxc2$ adjudicados a los delfines 1 y 2 del delfinario 1: "Six Flags", respectivamente.	136
Tabla 3.28. Esfuerzo de muestreo en el delfinario 2: "Atlantis", mostrando los días durante los que se tomaron datos, el tiempo de grabación, el número de minutos con silbidos, el número de minutos grabados, el número de silbidos obtenidos y las tres tasas de emisión de silbidos calculadas.	138
Tabla 3.29. Tabla de ocurrencia en el delfinario 2: "Atlantis" del número de minutos que tenía un número específico de silbidos, mostrando los datos de acuerdo a los delfines que se encontraban en el estanque.	141
Tabla 3.30. Resultados de la prueba de χ^2 de la comparación de la tasa de emisión de silbidos como número de silbidos por cada minuto durante cada cambio de compañero en el delfinario 2: "Atlantis".	141
Tabla 3.31. Las 116 categorías de silbidos encontradas para el delfinario 2: "Atlantis" utilizando la clasificación manual.	143
Tabla 3.32. Espectrogramas de los 29 tipos de silbidos exclusivos de los delfines 3 y 4 del delfinario 2: "Atlantis" obtenidos con la clasificación manual.	146
Tabla 3.33. Espectrogramas de los 14 tipos de silbidos exclusivos del delfín 3 del delfinario 2: "Atlantis" obtenidos con la clasificación manual.	147
Tabla 3.34. Espectrogramas de los 28 tipos de silbidos exclusivos de los delfines 3 y 5 del delfinario 2: "Atlantis" obtenidos con la clasificación manual.	148
Tabla 3.35. Ocurrencia de los 116 tipos de silbidos obtenidos con la clasificación manual para el delfinario 2: "Atlantis", mostrando los silbidos totales y los silbidos emitidos por los distintos compañeros ($D3$ y $D4$, $D3$ solo, y $D3$ y $D5$). N = número de silbidos.	150

	Pág.
Tabla 3.36. Resultados de la prueba de χ^2 de la comparación del número de silbidos de cada tipo obtenidos con la clasificación manual que fueron emitidos durante cada cambio de compañero en el delfinario 2: "Atlantis".	154
Tabla 3.37. Índice de riqueza o índice de diversidad de Shannon H' y equitabilidad E para los silbidos analizados de los tres delfines del delfinario 2: "Atlantis" con la clasificación manual. N = número de silbidos, S = número de tipos de silbidos, H_{\max} = valor máximo de H' que se puede obtener para una S dada.	155
Tabla 3.38. Tipos de silbidos compartidos entre los delfinarios 1: "Six Flags" y 2: "Atlantis", mostrando el número de silbidos emitidos en cada delfinario de cada tipo	170
Tabla 4.1. Tiempo (min) y su respectivo porcentaje que los delfines del delfinario 1: "Six Flags" le dedicaron a cada estado de comportamiento durante el ciclo de 24 horas y durante el resto del muestreo, así como los resultados de la prueba χ^2 de la comparación de estos dos muestreos (* significativos a $P < 0.001$, $\chi^2_5 = 20.51$) R: reposo, N: nado, O: observación, J: juego y P: conducta parasexual.	181
Tabla 4.2. Tiempo (min) y su respectivo porcentaje que los delfines del delfinario 2: "Atlantis" le dedicaron a cada estado de comportamiento durante el ciclo de 24 horas y durante el resto del muestreo, así como los resultados de la prueba χ^2 de la comparación de estos dos muestreos (* significativos a $P < 0.001$, $\chi^2_4 = 18.46$). R: reposo, N: nado, O: observación y J: juego.	187
Tabla 4.3. Resultados de la prueba de χ^2 de la comparación del tiempo en minutos que cada delfín le dedicó a cada estado de comportamiento (* significativos a $P < 0.001$, $\chi^2_5 = 20.51$).	188
Tabla 4.4. Número de silbidos emitidos por los delfines 1 (D1) y 2 (D2) del delfinario 1: "Six Flags" en cada estado de comportamiento, así como el número de silbidos no adjudicados emitidos cuando ambos delfines se encontraban en el mismo estado de comportamiento considerando cada tipo de silbido de la clasificación manual. N: nado, O: observación y J: juego. En el estado de reposo no se registró ningún silbido.	190
Tabla 4.5. 19 tipos de silbidos considerando la clasificación manual emitidos en un solo estado de comportamiento en el delfinario 1: "Six Flags", mostrando el número de silbidos de cada tipo. R: reposo, N: nado, O: observación, J: juego y P: conducta parasexual (N=45 silbidos).	192
Tabla 4.6. 30 tipos de silbidos considerando la clasificación manual emitidos en más de un estado de comportamiento en el delfinario 1: "Six Flags". N: nado, O: observación, J: juego y P: conducta parasexual (N=904 silbidos).	192

	Pág.
Tabla 4.7. Número de silbidos emitidos por los delfines 1 (D1) y 2 (D2) del delfinario 1: “Six Flags” en cada estado de comportamiento, así como el número de silbidos no adjudicados emitidos cuando ambos delfines se encontraban en el mismo estado de comportamiento considerando cada tipo de silbido de la clasificación automatizada. N: nado, O: observación y J: juego. En el estado de reposo no se registró ningún silbido.	195
Tabla 4.8. 64 tipos de silbidos considerando la clasificación automatizada emitidos en un solo estado de comportamiento en el delfinario 1: “Six Flags”. R: reposo, N: nado, O: observación, J: juego y P: conducta parasexual (N=819 silbidos).	199
Tabla 4.9. Uso de los 44 tipos de silbidos de la clasificación automatizada durante los diferentes estados de comportamiento en el delfinario 1: “Six flags”. N: nado, O: observación, J: juego y P: conducta parasexual. En el estado de reposo no se registró ningún silbido.	200
Tabla 4.10. Porcentaje del tiempo que los delfines dedicaron a cada estado de comportamiento no acústico en los delfinarios 1: “Six Flags” y 2: “Atlantis” y en lo reportado por Cerón Benitez (2004). R: reposo, N: nado, O: observación, J: juego y P: conducta parasexual. M: macho, H: hembra.	204

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura. 1.1. Zonas de compresión y rarefacción en las moléculas de aire debido a la propagación de la energía acústica (arriba) y su representación como una onda sinusoidal (abajo).	1
Fig. 1.2. Ejemplo de la representación gráfica de un tono puro de 10 Hz (F_0 = frecuencia fundamental = 10 Hz) con una duración de 1 s. Arriba: forma de la onda u oscilograma, que muestra el cambio de la amplitud en función del tiempo. En medio: espectrograma, que muestra el cambio de la frecuencia en función del tiempo, considerando también el cambio de la amplitud en función del tiempo y de la frecuencia con un gradiente de coloración (a mayor intensidad, mayor amplitud). Abajo: espectro, que muestra el cambio de la amplitud en función de la frecuencia para un cierto tiempo.	2
Figura. 1.3. Características de una onda: amplitud, periodo y longitud de onda.	3
Figura 1.4. Oscilograma que muestra la relación entre la frecuencia fundamental, F_0 de un sonido y tres de sus armónicos (segundo, tercer y cuarto armónico).	4
Figura 1.5. Oscilograma que muestra dos sonidos del mismo tono, pero con diferente timbre. Arriba, tono puro (sólo la F_0). Abajo, onda compuesta, que es la suma de ondas con distinta frecuencia (F_0 y sus armónicos).	4

	Pág.
Figura 1.6. Distribución del delfín de la especie <i>Tursiops truncatus</i> en los océanos del mundo (tomado de Jefferson <i>et al.</i> , 1993). El signo de interrogación indica que en estas regiones no se tiene certeza de la existencia de esta especie.	5
Figura 1.7. Aparición de los distintos grupos de cetáceos en el registro fósil, mostrando la cronología de las adaptaciones a la vida acuática en cuanto a hábitos alimenticios, desplazamiento y audición. Modificado de Vaughan (1986). Ma = millones de años.	9
Figura 1.8. A: Umbral de audición en <i>Tursiops truncatus</i> reportado por diferentes estudios. B: Discriminación en los cambios de intensidad como porcentaje de la amplitud. Tomado de Au (1993).	11
Figura 1.9. Esquematación del sistema de sacos aéreos nasales supracraneales en delfines. n, narinas; sd, sacos dorsales; snf, sacos nasofrontales; sp, sacos premaxilares; sa, sacos accesorios. Tomado de Dormer (1979).	12
Figura 1.10. Imagen de tomografía computarizada en tres dimensiones mostrando la vista (A) inferior (ventral) y lateral (B) de la anatomía de la cabeza de <i>Tursiops truncatus</i> . Tomado de Houser <i>et al.</i> (2004).	13
Figura 1.11. Sistema de sacos aéreos nasales supracraneales en <i>Tursiops truncatus</i> . A: vista superior-derecha y B: vista de frente, mostrando los ejes y y z para denotar la asimetría de las estructuras. dm, membrana diagonal; iv, vestibulo inferior; n, narinas; sa, sacos accesorios; sao, abertura de los sacos accesorios; sd, sacos dorsales; sn, septum nasal; snf, sacos nasofrontales; snfo, abertura de los sacos nasofrontales; sp, sacos premaxilares. Tomado de Rodionov (2001).	14
Figura 1.12. Espectrograma de los dos diferentes tipos de sonidos emitidos por <i>Tursiops truncatus</i> . A: chasquidos formando un tren de ecolocalización. B: silbido y C: silbido y chasquidos emitidos simultáneamente. La frecuencia máxima mostrada es de 20 kHz debido al sistema de grabación utilizado.	15
Figura 1.13. Representación gráfica de un silbido de <i>Tursiops truncatus</i> . Arriba, oscilograma, en medio: espectrograma, abajo: espectro. El espectrograma es la gráfica más utilizada para describir a los silbidos y muestra el contorno o frecuencia fundamental, F_0 del silbido y hasta el cuarto armónico. El espectro se calculó para el intervalo de tiempo mostrado en el recuadro punteado del oscilograma y/o espectrograma.	17

- Figura 1.14. Espectrograma de un silbido de *Tursiops truncatus* mostrando algunos de los parámetros acústicos que se miden para el contorno. Ti: tiempo inicial, Tf: tiempo final, duración=Tf-Ti, Fi: frecuencia inicial, Ff: frecuencia final, Fmin: frecuencia mínima, Fmax: frecuencia máxima, B: ancho de banda=Fmax-Fmin. El punto en donde se presenta la mayor amplitud corresponde al Tp: tiempo pico y a la Fp: frecuencia pico, mientras que Tc: tiempo central y Fc: frecuencia central corresponden al punto donde la cantidad de energía es la mitad a ambos lados del punto. También se consideran el número de armónicos visibles y el número de puntos de inflexión (π). 18
- Figura 1.15. Fotografías de los dos delfines de la especie *Tursiops truncatus* bajo resguardo en el delfinario 1 “Six Flags”: (A) delfín 1 (un macho) y (B) delfín 2 (una hembra). 28
- Figura 1.16. Fotografía aérea de los estanques de la UMA Six Flags (delfinario 1 “Six Flags”). Izquierda, los tres estanques interconectados: estanque oval principal, estanque circular pequeño y estanque cuadrado pequeño. Derecha: estanque rectangular o de cuarentena. Tomada de <http://earth.google.com> con la mayor resolución que fue posible. 29
- Figura 1.17. Fotografías de los tres delfines de la especie *Tursiops truncatus* bajo resguardo en el delfinario 2 “Atlantis”: (A) delfín 3 (una hembra), (B) delfín 4 (una hembra) y (C) delfín 5 (un macho). 32
- Figura 1.18. Fotografía aérea de los estanques interconectados del delfinario 2 “Atlantis”. Izquierda, el estanque oval principal. Derecha-arriba: estanque circular pequeño. Tomada de <http://earth.google.com> con la mayor resolución que fue posible. 32
- Figura 2.1. Ejemplificación de la recepción de un sonido por las orejas derecha e izquierda para fuentes sonoras localizadas en los ángulos de 0° (A), 45° (B) y 90° (C). 34
- Figura 2.2. Representación en dos dimensiones del lóbulo principal del patrón del haz de un arreglo lineal de receptores. Esta es una gráfica polar donde los valores sobre el(los) círculo(s) representan el ángulo o la dirección a la que se encuentra la fuente sonora y la distancia del centro hacia la periferia de los círculos representa la cantidad de energía que se recibe, siendo el valor máximo de energía el del círculo con mayor radio (i.e., 60). Si el receptor fuera omnidireccional, es decir, que recibe los sonidos con la misma amplitud no importando la dirección de la que provienen, la representación del patrón del haz sería el círculo con mayor radio. Como el receptor es direccional, la representación tiene una cierta forma hacia adentro del círculo con mayor radio. (A) Forma del lóbulo principal para un sonido con una frecuencia más baja que la descrita en (B), por lo que el lóbulo principal es más direccional al aumentar la frecuencia del sonido recibido o emitido. 37

Figura 2.3. Arreglo lineal de cinco hidrófonos que recibe un frente sonoro. Se supone que la fuente sonora está en el campo lejano, por lo que las líneas del frente sonoro son líneas paralelas. El hidrófono H1 es el que recibe primero el frente sonoro y tiene un tiempo de retraso de 0 s, mientras que el hidrófono H5 es el último que recibe el frente sonoro y tienen un tiempo de retraso de 4τ . Las líneas punteadas representan la distancia adicional que recorre el frente sonoro y determinan los cambios que se deben realizar mediante la rotación electrónica del arreglo para conformar un arreglo imaginario para el cual el frente sonoro llegue al mismo tiempo a todos los hidrófonos del arreglo, es decir, que el tiempo de retraso para los cinco hidrófonos sea de 0 s.

37

Figura 2.4. Modificación del patrón del haz mediante cambios en el tiempo de retraso de la señal recibida por cada uno de los receptores (A). El frente sonoro llega a diferentes tiempos a cada hidrófono, por lo que las ondas sonoras recibidas llegan desfasadas (B). Al introducir un retraso τ de acuerdo a la posición de cada hidrófono (A), las ondas sonoras estarán en fase (C). Una vez en fase, las ondas presentarán interferencia constructiva al sumarse, es decir, la amplitud de la señal se incrementará para todo tiempo (D).

38

Figura 2.5. Diagrama que ejemplifica el método de las hipérbolas para localizar la fuente sonora, señalando la ubicación de dos hidrófonos (H1 y H2) como los focos de la hipérbola. Cuando se utilizan dos receptores, la ubicación de la fuente en el plano (x,y) es en cualquier punto sobre la hipérbola, pudiendo discriminar si es sobre la rama izquierda o derecha por el signo del tiempo de retraso.

41

Figura 2.6. Diagrama que ejemplifica el método de las hipérbolas para localizar la fuente sonora con un arreglo lineal de tres hidrófonos, señalando la ubicación de los tres hidrófonos (H1, H2 y H3) como los focos de las hipérbolas. Cuando se utilizan tres receptores, la ubicación de la fuente en el plano (x,y) son los dos puntos en los que se intersectan las hipérbolas formadas por los hidrófonos H1 y H2, H1 y H3 y/o H2 y H3, pudiendo discriminar si es sobre la rama izquierda o derecha por el signo del tiempo de retraso (A). (B) Representación de la ambigüedad izquierda-derecha en el uso de arreglos lineales con un número de hidrófonos mayor o igual a tres.

43

Figura 2.7. Diagrama que ejemplifica el método de Cato con dos hidrófonos para localizar la fuente sonora, señalando la ubicación de los dos hidrófonos (H1 y H2). La ubicación de la fuente es en los puntos $P(x,y)$ y $P(x,-y)$ (indicando la ambigüedad izquierda-derecha) y se puede describir dando la distancia r_1 y el ángulo θ . Modificado de Cato (1998).

44

	Pág.
Figura 2.8. Representación de la ambigüedad en la localización de la fuente sonora P en tres dimensiones utilizando el método de Cato con dos hidrófonos. La fuente sonora se encuentra sobre la circunferencia del círculo normal al plano (x,y) donde se encuentran los hidrófonos H1 y H2. Tomado de Cato (1998).	45
Figura 2.9. Hipérbolas y asíntotas calculadas para sonidos emitidos en un estanque donde la distancia entre los dos hidrófonos era de 20 m.	48
Figura 2.10. Hipérbolas y asíntotas calculadas para sonidos emitidos en un estanque donde la distancia entre los dos hidrófonos era de 11 m (se utilizó 11m en vez de 10 m porque ésta fue la distancia a la que colocaron los hidrófonos en el estanque del delfinario 2: "Atlantis").	49
Figura 2.11. Localización de la fuente sonora utilizando un arreglo de dos hidrófonos separados una distancia de 20 m para (A) un tiempo de retraso mínimo de 0 s a 0° y para (B) un tiempo de retraso máximo de 13.193 ms a 90° o -13.193 ms a -90°. La fuente se encuentra en cualquier punto sobre las curvas azules.	50
Figura 2.12. Resolución experimental de los valores del tiempo de retraso calculados mediante el programa de cómputo Canary© para el arreglo de dos hidrófonos separados 20 m (A). Se muestra una ampliación de la escala entre 0 y 1 ms (B).	51
Figura 2.13. Espectrograma de una grabación en dos canales mostrando un silbido con mucha reverberación. A pesar de que el silbido se registró primero en el canal izquierdo ($\tau \approx 14$ ms), el tiempo de retraso calculado por los dos programas de cómputo utilizados fue de 0 ms. Además, en el canal izquierdo (L) se observa claramente una reflexión que arribó 0.035 s después de la señal "directa" (que también incluye reverberación), lo cual equivale a una distancia adicional recorrida de 53 m.	53
Figura 2.14. Fotografía aérea del estanque oval principal del delfinario 1 "Six Flags" mostrando varias hipérbolas donde la fuente sonora podría estar ubicada al emplear dos hidrófonos (LH: hidrófono izquierdo y RH: hidrófono derecho) separados 20 m. Cuando $\tau > 0$ s, la fuente se ubicaba en la rama izquierda de la hipérbola; cuando $\tau < 0$ s, la fuente se ubicaba en la rama derecha; y cuando $\tau = 0$ s, la fuente se ubicaba en el centro del estanque. La hipérbola punteada es para $0 < \tau < 0.088$ ms, el menor tiempo de retraso posible. La hipérbola gruesa es para $\tau_{\max} = 13.333$ ms, el mayor tiempo de retraso posible. Las hipérbolas negra y blanca son para $\tau = 9.004$ ms y $\tau = 9.092$ ms, respectivamente, mostrando una diferencia de 0.088 ms, que fue la máxima resolución de los programas de cómputo empleados para calcular el tiempo de retraso. La fotografía aérea del estanque fue tomada de http://earth.google.com con la mayor resolución posible.	56

- Figura 2.15. Localización de un delfín que era la fuente sonora utilizando un arreglo de dos hidrófonos separados una distancia de 20 m y las videgrabaciones con la cámara VR1 para (A) un tiempo de retraso mínimo de 0 s a 0° y para (B) un tiempo de retraso máximo de 13.193 ms a 90°. La fuente sonora se encontraba en cualquier punto sobre las curvas azules y el delfín que era la fuente sonora se encontraba en los círculos rojos. 62
- Fig. 2.16. (A) Fotografía aérea del estanque oval principal del delfinario 1 “Six Flags” mostrando los lugares donde se colocaron las dos videocámaras, VR1 y VR2. (B) Toma lejana, casi completa del estanque, con la cámara VR1. (C) Toma cercana del estanque con la cámara VR2 para poder identificar al delfín videgrabado. La fotografía aérea del estanque fue tomada de <http://earth.google.com> con la mayor resolución posible. 63
- Fig. 2.17. Formato escrito empleado en la recolección de datos durante los muestreos en los estanques. 64
- Fig. 2.18. (A) Fotografía aérea del estanque oval principal del delfinario 2 “Atlantis” mostrando los lugares donde se colocaron las dos videocámaras, VR1 y VR2. (B) Toma lejana, casi completa del estanque, con la cámara VR1. (C) Toma cercana del estanque con la cámara VR2 para poder identificar al delfín videgrabado. 65
- Fig. 2.19. (A) Fotografía aérea del estanque de cuarentena del delfinario 1 “Six Flags” mostrando el lugar donde se colocaron las dos videocámaras, VR1 y VR2. (B) Toma casi completa cercana del estanque con la cámara VR1. (C) Toma cercana del estanque con la cámara VR1 para cubrir el área no tomada con la VR1. Ambas tomas se usaron para poder identificar al delfín videgrabado. La fotografía aérea del estanque fue tomada de <http://earth.google.com> con la mayor resolución posible. 66
- Fig. 2.20. Toma casi completa del estanque oval principal del delfinario 1 “Six Flags” con la cámara VR1 mostrando la retícula de seis cuadrantes utilizada para confirmar si se encontraba un delfín sobre la media rama de la hipérbola donde se ubicaba la fuente sonora. 67
- Fig. 2.21. Toma casi completa del estanque de cuarentena del delfinario 1 “Six Flags” con la cámara VR1 mostrando la retícula de seis cuadrantes utilizada para confirmar si se encontraba un delfín sobre la media rama de la hipérbola donde se ubicaba la fuente sonora. 67
- Fig. 2.22. Toma casi completa del estanque oval principal del delfinario 2 “Atlantis” con la cámara VR1 mostrando la retícula de seis cuadrantes utilizada para confirmar si se encontraba un delfín sobre la media rama de la hipérbola donde se ubicaba la fuente sonora. 67

	Pág.
Figura 2.23. Espectrogramas de los silbidos grabados en dos canales (L y R) que ejemplifican las distintas situaciones por las que no se pudo calcular el tiempo de retraso: (A) silbido muy atenuado, (B) silbido en un solo canal, (C) diferente contorno, mismo silbido, (D) contorno incompleto en un canal y (E) silbido traslapado con otro(s) sonido(s) (chasquidos).	70
Figura 2.24. Pautas en el comportamiento utilizadas para identificar al delfín silbador: (A) Espectrograma de un silbido recibido en un solo canal. El delfín silbador podría ser aquel más cercano al hidrófono que captó el silbido (el canal R). (B) Fotografía de un delfín realizando el comportamiento denominado “observación”. El delfín silbador podría ser aquel que realizó este comportamiento al mismo tiempo que se emitió el silbido.	74
Figura 3.1. Espectrograma de un silbido de <i>Tursiops truncatus</i> en cautiverio del delfinario 1: “Six Flags” grabado en dos canales a una tasa de muestreo de 96 kHz y 16 bits con una grabadora M-Audio modelo Microtrack 24/96©.	83
Figura 3.2. Espectrograma de un silbido de <i>Tursiops truncatus</i> en cautiverio del delfinario 1: “Six Flags” obtenido con los programas de cómputo (A) Adobe Audition© versión 2.0 y (B) Raven versión 1.3. El cuadro gris en (A) muestra la selección usada en (B). Es el mismo silbido de la Figura 3.1.	85
Figura 3.3. Número de silbidos registrados durante el ciclo de 24 horas realizado en el delfinario 1: “Six Flags”. El periodo marcado en gris denota la noche y el periodo marcado en blanco denota el día. Las grabaciones comenzaron a las 07:28 horas del 13 de septiembre de 2007.	98
Figura 3.4. Histograma del número de silbidos registrados durante cada minuto para las cuatro situaciones del cambio de estanque en el delfinario 1: “Six Flags”.	99
Figura 3.5. Relación entre la tasa de emisión de silbidos y los parámetros fisicoquímicos del agua de los estanques en el delfinario 1: “Six Flags”. (A) Cambio de la tasa de emisión y de los parámetros fisicoquímicos de acuerdo al día de muestreo. Cambio de la tasa de emisión de acuerdo a (B) la temperatura y (C) la salinidad.	101
Figura 3.6. Los 60 tipos de silbidos del delfinario 1: “Six Flags” determinados con la clasificación manual de acuerdo al delfín al que fueron adjudicados y considerando el estanque en el que se estaban los delfines. D1 = delfín 1, D2 = delfín 2, NA = no adjudicados. N = número de tipo de silbidos.	103

	Pág.
Figura 3.7. Curvas acumulativas para el delfinario 1: “Six Flags” del número de tipos de silbidos nuevos vs. el número de silbidos analizados determinados con la clasificación manual: (A) vista completa y (B) detalle de la curva acumulativa para los dos delfines (la línea roja con pendiente, $m=1$ representa un repertorio infinito), (C) delfín 1 y (D) delfín 2. Amarillo: estanque oval 1, azul: día del cambio de estanque, verde: estanque rectangular y naranja: estanque oval 2. Las líneas negras representan el ajuste logarítmico de los datos y se muestra su ecuación y valor de ajuste (R^2).	107
Figura 3.8. Los 121 tipos de silbidos del delfinario 1: “Six Flags” determinados con la clasificación automatizada de acuerdo al delfín al que fueron adjudicados y considerando el estanque en el que se encontraban los delfines. D1 = delfín 1, D2 = delfín 2, no adjudicados = NA. N = número de tipos de silbidos.	109
Figura 3.9. Curvas acumulativas para el delfinario 1: “Six Flags” del número de tipos de silbidos nuevos vs. el número de silbidos analizados determinados con la clasificación automatizada: (A) vista completa y (B) detalle de la curva acumulativa para los dos delfines (la línea roja con pendiente, $m=1$ representa un repertorio infinito), (C) delfín 1 y (D) delfín 2. Amarillo: estanque oval 1, azul: día del cambio de estanque, verde: estanque rectangular y naranja: estanque oval 2. Las líneas negras representan el ajuste logarítmico de los datos y se muestra su ecuación y valor de ajuste (R^2).	115
Figura 3.10. Ocurrencia de los distintos tipos de silbidos del delfinario 1: “Six Flags” determinados con las clasificaciones (A) manual y (B) automatizada, mostrando el porcentaje para los tipos de silbidos que representaron más del 0.7% del total de los silbidos (u 8 silbidos, 14 tipos para la clasificación manual y 15 tipos para la clasificación automatizada). N = número de tipos de silbidos para cada clasificación.	121
Figura 3.11. Cantidad de silbidos de cada tipo de silbido contra el número de tipo de silbidos que tienen esa cantidad de silbidos de acuerdo delfín al que fue adjudicado el silbido (delfín 1=D1 y delfín 2=D2) y mostrando los silbidos no adjudicados (NA) para los distintos tipos de silbidos determinados con las clasificaciones (A) manual y (B) automatizada del delfinario 1: “Six Flags”.	122
Figura 3.12. Cantidad de silbidos de cada tipo y categoría fija de contorno de la clasificación manual en (A) el estanque oval 1, (B) durante el cambio de estanque, (C) en el estanque rectangular y (D) en el estanque oval 2 del delfinario 1: “Six Flags”. Cxc**=otros contornos convexo-constant.	123
Figura 3.13. Cantidad de silbidos de cada tipo y categoría fija de contorno de la clasificación automatizada en (A) el estanque oval 1, (B) durante el cambio de estanque, (C) en el estanque rectangular y (D) en el estanque oval 2 del delfinario 1: “Six Flags”. Cxc**=otros contornos convexo-constant.	124

	Pág.
Figura 3.14. Ocurrencia de los distintos tipos de silbidos para los delfines 1 y 2 (D1 y D2, respectivamente) del delfinario 1: “Six Flags” determinados con las clasificaciones (A) manual y (B) automatizada, mostrando el porcentaje para los tipos de silbidos que representaron más del 1.0% del total de los silbidos del repertorio individual (16 tipos para D1 y 3 para D2 con la clasificación manual y 16 tipos para D1 y 3 para D2 con la clasificación automatizada). N = número de tipos de silbidos.	126
Figura 3.15. Espectrogramas de los dos tipos de silbidos más usados por ambos delfines del delfinario 1: “Six Flags” obtenidos con la clasificación automatizada: (A) tipo Cxc2 producido por el delfín 2 (N = 596 silbidos) y (B) tipo Cxc1 producido por el delfín 1 (N = 147 silbidos). Ambos silbidos son estereotípicos.	134
Figura 3.16. Porcentaje de similitud entre silbidos de acuerdo al número de silbidos de tipo Cxc1 o Cxc2 utilizados por los delfines 1 (D1) y 2 (D2) del delfinario 1: “Six Flags”, respectivamente.	134
Figura 3.17. Número de silbidos registrados durante el ciclo de 24 horas realizado en el delfinario 2: “Atlantis”. El periodo marcado en gris denota la noche y el periodo marcado en blanco denota el día. Las grabaciones comenzaron a las 10:45 horas del 01 de octubre de 2007.	139
Figura 3.18. Histograma del número de silbidos registrados durante cada minuto para las tres situaciones del cambio de compañero en el delfinario 2: “Atlantis”.	140
Figura 3.19. Relación entre la tasa de emisión de silbidos y los parámetros fisicoquímicos del agua del estanque del delfinario 2: “Atlantis”. (A) Cambio de la tasa de emisión y de los parámetros fisicoquímicos de acuerdo al día de muestreo. Cambio de la tasa de emisión de acuerdo a (B) la temperatura y (C) la salinidad.	142
Figura 3.20. Los 116 tipos de silbidos del delfinario 2: “Atlantis” determinados con la clasificación manual de acuerdo a los delfines presentes en el estanque. D3 = delfín 3, D4 = delfín 4, D5 = delfín 5. N = número de tipos de silbidos.	144
Figura 3.21. Curvas acumulativas para el delfinario 2: “Atlantis” del número de tipos de silbidos nuevos vs. el número de silbidos analizados determinados con la clasificación manual para las tres configuraciones de compañeros: (A) delfines 3 y 4 (morado), (B) delfín 3 solo (naranja) y (C) delfines 3 y 5 (azul). La línea roja con pendiente, $m=1$ representa un repertorio infinito. Las líneas negras representan el ajuste logarítmico de los datos y se muestra su ecuación y valor de ajuste (R^2).	145

	Pág.
Figura 3.22. Ocurrencia de los 116 tipos de silbidos del delfinario 2: “Atlantis” determinados con la clasificación manual, mostrando el porcentaje para los tipos de silbidos que representaron más del 1% del total de los silbidos.	149
Figura 3.23. Ocurrencia de los distintos tipos de silbidos para los delfines del delfinario 2: “Atlantis”, mostrando el porcentaje para los tipos de silbidos que representaron más del 1.0% del total de los silbidos del repertorio de los delfines que coexistieron. N = número de tipos de silbidos.	152
Figura 3.24. Uso de los distintos tipos de silbidos de acuerdo a su categoría fija de la clasificación manual obtenidos para los delfines 3 y 4 del delfinario 2: “Atlantis” durante el día y durante la noche.	154
Figura 3.25. Espectrograma del tipo de silbido estereotípico Cxc3 producido por el delfín 3 del delfinario 2: “Atlantis” cuando estuvo solo (N = 24 silbidos).	156
Figura 3.26. Espectrograma de los dos tipos de silbidos más usados por el delfín 3 del delfinario 2: “Atlantis” cuando estuvo solo: (A) tipo Ccxc2r (N = 209 silbidos) y (B) tipo Ccxc (N = 139 silbidos). Ambos silbidos son estereotípicos.	157
Figura 3.27. Curvas acumulativas para el delfinario 1: “Six Flags” del número de tipos de silbidos nuevos vs. el número de silbidos analizados, considerando las clasificaciones manual y automatizada y mostrando las situaciones que se suscitaron cuando hubo un incremento en el número de tipos de silbidos nuevos. CPS = eventos de conducta parasexual, J = juego, CE = cambio de estanque y PCA = probable contacto acústico con otros dos delfines que se encontraban en el estanque rectangular pequeño cuando los delfines 1 y 2 regresaron al estanque oval. Amarillo: estanque oval 1, azul: día del cambio de estanque, verde: estanque rectangular y naranja: estanque oval 2.	161
Figura 3.28. Espectrograma del tipo de silbido Deir que fue registrado únicamente cuando los delfines 1 y 2 del delfinario 1: “Six Flags” fueron cambiados de estanque.	162
Figura 4.1. Comportamientos observados que definieron el estado de reposo y que incluyen todos aquellos comportamientos de baja energía: flotando en la superficie sacando el melón (H1), flotando en la superficie sacando la aleta dorsal (H4) y flotando en la superficie sacando la aleta dorsal y haciendo inmersiones ligeramente debajo de la superficie (8) (tomados de Müller <i>et al.</i> , 1998).	176
Figura 4.2. Comportamientos observados que definieron el estado de nado y que incluyen todos los saltos que hicieron mientras nadaban y todos los tipos de nado: salto arqueado (A3), salto (A6), salto invertido (A7) y nado lateral exponiendo la aleta caudal (B2), la aleta dorsal (C1) o una aleta pectoral (E1) (tomados de Müller <i>et al.</i> , 1998).	176

	Pág.
Figura 4.3. Comportamientos observados que definieron el estado de observación: sacar la cabeza de manera inclinada (A2), sacar la cabeza de manera vertical (D10), girando la cabeza para asomar un sólo ojo (D4) y flotando en la superficie sacando la cabeza (H5) (tomados de Müller <i>et al.</i> , 1998).	177
Figura 4.4. Comportamientos observados en el delfinario 1: “Six Flags” que fueron eventos: resoplidos (F4), emisión de burbujas (F3), movimiento dorso-ventral de la cabeza con el tórax fuera del agua hasta las aletas pectorales (B6), sacar la mitad anterior del cuerpo para luego sumergirla (B1) (tomados de Müller <i>et al.</i> , 1998).	178
Figura 4.5. Comportamientos observados en secuencia que definieron el estado de interacción entre individuos y que se describió como “conducta parasexual”.	180
Figura 4.6. Tiempo que cada delfín del delfinario 1: “Six Flags” estuvo en cada uno de los diferentes estados de comportamiento no acústico para los distintos estanques: “sin marca” = estanque oval 1, ‘ = estanque rectangular, * = estanque oval 2. R: reposo, N: nado, O: observación, J: juego, P: conducta parasexual, D1 = 1 = delfín 1, D2 = 2 = delfín 2. La línea continua indica el ciclo de 24 horas y los datos puntuales el resto del muestreo.	182
Figura 4.7. Curvas acumulativas de la proporción del tiempo que cada delfín le dedicó a cada estado de comportamiento no acústico en el delfinario 1: “Six Flags”. R: reposo, N: nado, O: observación y J: juego.	183
Figura 4.8. Tiempo que los delfines 3 y 4 del delfinario 2: “Atlantis” estuvieron en cada uno de los diferentes estados de comportamiento no acústico. R: reposo, N: nado, O: observación, J: juego, D3=3=delfín 3, D4=4=delfín 4. La línea continua indica el ciclo de 24 horas y los datos puntuales el resto del muestreo (no se incluyen datos cuando el delfín 3 estuvo solo o acompañado del delfín 5 porque no se realizó un ciclo de 24 horas para éstos).	186
Figura 4.9. Curvas acumulativas de la proporción del tiempo que cada delfín le dedicó a cada estado de comportamiento no acústico en el delfinario 2: “Atlantis”. R: reposo, N: nado, O: observación y J: juego.	187
Figura 4.10. Porcentaje de silbidos de cada tipo, considerando la clasificación manual, usados durante los diferentes estados de comportamiento en el delfinario 1: “Six flags”. N: nado, O: observación, J: juego y P: conducta parasexual. En el estado de reposo no se registró ningún silbido.	191

	Pág.
Figura 4.11. Uso de 49 tipos de silbidos de la clasificación manual durante los diferentes estados de comportamiento en el delfinario 1: “Six flags”. N: nado, O: observación, J: juego y P: conducta parasexual. En el estado de reposo no se registró ningún silbido.	193
Figura 4.12. Porcentaje de silbidos de cada tipo, considerando la clasificación automatizada, usados durante los diferentes estados de comportamiento en el delfinario 1: “Six flags”. N: nado, O: observación, J: juego y P: conducta parasexual. En el estado de reposo no se registró ningún silbido.	197
Figura 4.13. Uso de 109 tipos de silbidos de la clasificación automatizada durante los diferentes estados de comportamiento en el delfinario 1: “Six flags”. N: nado, O: observación, J: juego y P: conducta parasexual. En el estado de reposo no se registró ningún silbido.	201

RESUMEN

El estudio de los delfines de la especie *Tursiops truncatus* es de gran interés debido a que esta especie puede funcionar como un organismo biomonitor, dados sus hábitos depredadores, por ser residentes en áreas costeras y vivir hasta 40 años (Wells *et al.*, 2004). Sin embargo, el estudio de la ecología de esta especie se ha complicado debido a su movilidad y tipo de hábitat, por lo que se ha recurrido a la bioacústica como una nueva herramienta de estudio. Los delfines producen silbidos que se han llegado a considerar como un lenguaje no humano (Dreher, 1961). Estos sonidos son señales continuas casi omnidireccionales y de frecuencia modulada con energía hasta 80 kHz en sus armónicos (Lammers *et al.*, 2003) y con frecuencias fundamentales entre 1 y 35 kHz (Bazúa-Durán & Au, 2002) que se analizan con base en la modulación de su frecuencia con respecto al tiempo en un espectrograma para observar los diferentes contornos de los silbidos (Dreher, 1961).

En este trabajo se planteó estudiar el repertorio completo de silbidos de delfines en cautiverio para poder responder a interrogantes relacionadas con su uso y características. Para esto, se realizó la grabación simultánea de audio y video en dos delfinarios de la Ciudad de México, el delfinario 1: “Six Flags” y el delfinario 2: “Atlantis”, donde se albergaban, respectivamente, los delfines 1 y 2 (ambos adultos) y los delfines 3, 4 y 5 (dos juveniles y un adulto, respectivamente). Se empleó un arreglo de dos hidrófonos que permitió localizar la fuente de los silbidos mediante el método de las hipérbolas. Con las grabaciones de video se realizó la localización e identificación del delfín emisor del silbido. La eficiencia de adjudicación de los silbidos al delfín emisor en el delfinario 1: “Six Flags” fue del 73%. En el delfinario 2: “Atlantis” los delfines nadaban uno junto al otro o uno arriba del otro constantemente, por lo que únicamente se adjudicaron los silbidos al delfín emisor cuando el delfín 3 permaneció solo en el estanque. Los silbidos obtenidos se analizaron por delfinario y por individuo para los delfines 1, 2 y 3.

Se encontró que los delfines silbaron más en el delfinario 2: “Atlantis” y, dentro del delfinario 1: “Six Flags”, que el delfín 2 silbó más que el 1. Esto se debe probablemente a la edad de los delfines y al tiempo que llevan de ser compañeros. Los delfines juveniles 3 y 5 silbaron mucho más que los delfines adultos 1 y 2 que llevaban más tiempo de cohabitar.

Posteriormente, se determinó el repertorio de silbidos de manera manual por un observador (Bazúa-Durán & Au, 2002) y de manera automatizada utilizando la rutina “Beluga” para la extracción de contornos y la rutina “ARTWarp” para la clasificación *per se* (Deecke & Janik, 2006). Los repertorios obtenidos manual y automatizadamente en el delfinario 1: “Six Flags” fueron muy similares, aunque el automatizado fue más fino y presentó el doble de categorías. Los delfines 1 y 2 tuvieron un repertorio de silbidos poco extenso, emitiendo principalmente silbidos con contorno convexo-constante estereotipados con un índice de similitud mayor al 95%. Los delfines 3, 4 y 5 en conjunto tuvieron un repertorio de silbidos amplio, emitiendo principalmente silbidos con contorno constante y constante-convexo-constante. Sin embargo, el repertorio para el delfín 3 cuando estuvo solo fue menos rico, emitiendo principalmente silbidos con contorno constante-convexo-constante estereotipados con un índice de similitud mayor al 92%. A pesar de que los delfines de ambos delfinarios nunca han estado en contacto ni físico ni acústico, compartieron silbidos en su repertorio. Esto probablemente se deba a que existen silbidos propios de la especie.

Además, en el delfinario 1: “Six Flags” se encontró que los delfines emitieron un silbido descendente irregular únicamente durante el cambio de estanque. Entonces, se encontró que el repertorio y uso de los silbidos se modificó dependiendo del estanque del delfinario 1: “Six Flags” en el que estaban los delfines y del delfín con el que cohabitaban en ambos delfinarios. Sin embargo, los silbidos más emitidos fueron los ya descritos.

Finalmente, se determinó que ni el repertorio ni el uso de los silbidos se relacionaron con los parámetros ambientales medidos, pero sí con la actividad que realizaban los delfines (nado, reposo, observación e interacción con objetos o con otros delfines). Los delfines no silbaron cuando estaban en reposo y, dependiendo de la actividad, emitieron silbidos específicos. En ambos delfinarios los delfines emitieron silbidos ascendentes durante el nado, silbidos convexo-constantes o constante-convexo-constantes durante la observación y silbidos sinusoidales durante la interacción con objetos.

Se concluye que el repertorio de silbidos y su uso fue variable dependiendo de los individuos, su edad y del contexto en el que fueron emitidos. Los silbidos estereotípicos son los que podrían ser empleados para discriminar individuos, especialmente para delfines adultos, y también para discriminar la actividad que realizaban los delfines cuando los emitieron.

ABSTRACT

The study of the dolphin *Tursiops truncatus* is of great interest because this species can be used as a biomonitor organism given its predatory habits, by being resident in coastal areas, and by having a lifespan of up to 40 years (Wells *et al.*, 2004). However, the study of its ecology has been limited due to its mobility and habitat, so bioacoustics is now being used as a new tool for its study. Dolphins produce whistles that have been regarded as a non-human language (Dreher, 1961). These sounds are continuous and almost omnidirectional, with fundamental frequencies between 1 and 35 kHz (Bazúa-Durán & Au, 2002) that have been classified based on the frequency modulation with time observed in a spectrogram to depict the different whistle contours (Dreher, 1961).

In this work we proposed to study the complete whistle repertoire of captive dolphins to respond to questions regarding whistle use and characteristics. For this, we performed simultaneous recording of audio and video in two aquaria in Mexico City, aquarium 1: "Six Flags" and aquarium 2: "Atlantis". Dolphins 1 and 2 (both adults) were housed in aquarium 1, and dolphins 3, 4, and 5 (two juveniles and one adult, respectively) were housed in aquarium 2. We used a two hydrophone array that allowed locating the whistle source using the hyperbolic method. Video recordings were used to localize and identify the whistling dolphin. The efficiency of define the whistling dolphin in aquarium 1: "Six Flags" was of 73%. In aquarium 2: "Atlantis", dolphins swam constantly side by side or one above the other. Therefore, whistles were ascribed only to dolphin 3 when it was in the pool by itself. The whistles recorded were analyzed by aquaria and by individual for dolphins 1, 2, and 3.

It was found that dolphins whistled more in aquarium 2: "Atlantis" and, within aquarium 1: "Six Flags", dolphin 2 whistled more than dolphin 1. This is probably due to the age of the dolphins and how long they have been together. The juvenile dolphins 3 and 5 whistled more than adult dolphins 1 and 2 that were housed together for the longest time.

Secondly, the whistle repertoire was determined manually (Bazúa-Durán & Au, 2002) and in an automated way using the routine "Beluga" for contour extraction and the routine "ARTWarp" for the classification *per se* (Deecke & Janik, 2006). For aquarium 1: "Six Flags" the manual and automated whistle repertoires were very similar, although the automated one was finer and had twice the number of categories. Dolphins 1 and 2 had a

less extent whistle repertoire, producing mainly whistles with a constant-convex contour that were stereotyped with a similarity index greater than 95%. Dolphins 3, 4, and 5 altogether had a broader whistle repertoire, producing mainly whistles with a constant and constant-convex-constant contour. However, when dolphin 3 was alone its whistle repertoire was less extent, producing mainly whistles with a constant-convex-constant contour that were stereotyped with a similarity index greater than 92%. Although dolphins from both aquaria never had physical nor acoustic contact, they shared whistles in its repertoire. It is possible that there are whistles unique to the species.

In addition, in aquarium 1: “Six Flags” it was found that dolphins produced a whistle with an irregular descendent contour when changing pools. Therefore, the whistle repertoire and its use changed depending on the pool where dolphins were housed in aquarium 1: “Six Flags”, or on the dolphin companion in both aquaria. Nevertheless, the whistles more frequently produced were of the contours already described.

Finally, it was determined that neither the whistle repertoire nor its use was related to the measured environmental parameters, but with the activity of the dolphins (swimming, rest, observation, interaction with objects, and interaction with other dolphins). Dolphins did not whistle when they were at rest, and depending on the activity, they emitted specific whistles. In both aquaria, dolphins emitted ascending whistles while swimming, convex-constant or constant-convex-constant whistles during observation, and sinusoidal whistles during interaction with objects.

It was concluded that the whistle repertoire varied depending on the individual dolphins, their age, and the context in which they were emitted. Stereotyped whistles are those that may be used to discriminate between individuals, especially for adult dolphins, and also to discriminate between the activities performed by dolphins.

Capítulo I. INTRODUCCIÓN A LA BIOACÚSTICA EN DELFINES

I.1. Conceptos acústicos básicos

La bioacústica estudia diferentes aspectos del sonido en relación con los seres vivos; como qué sonidos producen los animales, cómo perciben estos los sonidos en su medio y qué efectos tiene el sonido sobre ellos. Para explicar el sonido desde un punto de vista físico se puede definir al sonido como una vibración que se propaga en un medio elástico. La energía acústica originada por una perturbación hace vibrar a las moléculas que se encuentran alrededor del sitio donde se originó (foco). Esta energía se propaga a una cierta velocidad dependiendo de las características del medio (Kuhn, 1996). Cuando las moléculas se aglomeran en un cierto espacio, la presión aumenta y cuando se separan, la presión disminuye. Así, hay zonas de compresión y rarefacción en la dirección de la propagación (Fig 1.1).

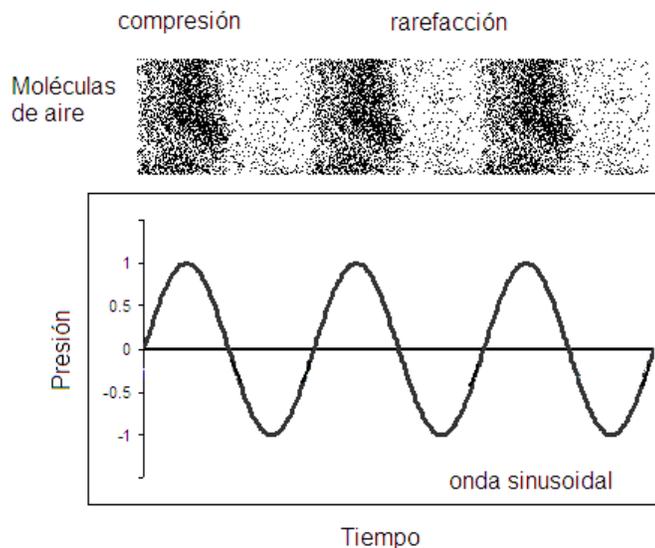


Figura. 1.1. Zonas de compresión y rarefacción en las moléculas de aire debido a la propagación de la energía acústica (arriba) y su representación como una onda sinusoidal (abajo).

Este fenómeno de cambios en la presión se puede describir tanto en el tiempo como en el espacio, modelándolo como una onda. El modelo más simple para representar un

tono puro es una onda sinusoidal o cosinusoidal (Fig. 1.1). Por ello, el sonido se caracteriza por sus componentes espectro-temporales, es decir, la descripción de sus componentes de frecuencia y amplitud (intensidad o potencia) y cómo varían éstos en el tiempo. Para caracterizar al sonido por su duración, su frecuencia y su amplitud se utilizan gráficas como las que se muestran en la Fig. 1.2.

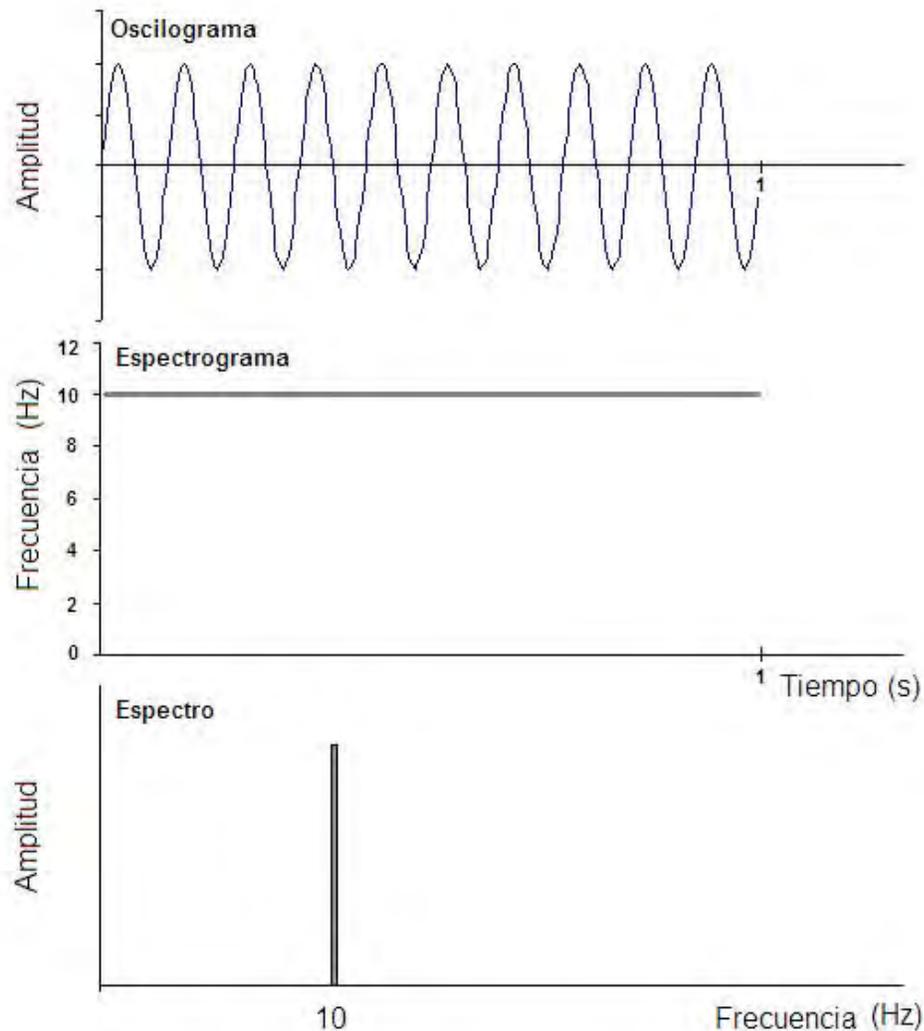


Fig. 1.2. Ejemplo de la representación gráfica de un tono puro de 10 Hz (F_0 = frecuencia fundamental = 10 Hz) con una duración de 1 s. Arriba: forma de la onda u oscilograma, que muestra el cambio de la amplitud en función del tiempo. En medio: espectrograma, que muestra el cambio de la frecuencia en función del tiempo, considerando también el cambio de la amplitud en función del tiempo y de la frecuencia con un gradiente de coloración (a mayor intensidad, mayor amplitud). Abajo: espectro, que muestra el cambio de la amplitud en función de la frecuencia para un cierto tiempo.

Describiendo un tono puro se define al periodo, T como el tiempo que dura un ciclo (Fig. 1.3) y a la frecuencia, F como el número de ciclos que hay en un segundo (Hz), por lo que el periodo y la frecuencia son inversamente proporcionales, es decir, $T=1/F$. La longitud de onda, λ se define como la distancia en la que se completa un ciclo (Fig. 1.3). En ambos casos, se representan las variaciones de presión en el medio como la amplitud de la onda y este valor de amplitud se relaciona directamente con la intensidad del sonido.

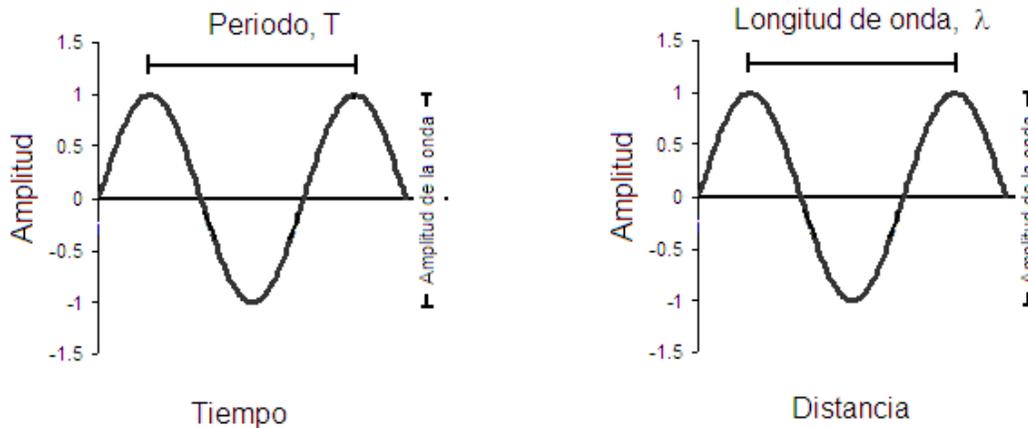


Figura. 1.3. Características de una onda: amplitud, periodo y longitud de onda.

Los sonidos que se producen en la naturaleza no se pueden modelar como tonos puros con una onda simple, sino por la combinación de varios tonos puros con varias ondas. Generalmente, existe una onda de frecuencia más baja y de mayor amplitud que se denomina frecuencia fundamental o F_0 y que representa la frecuencia de vibración de la perturbación que origina el sonido (Fig. 1.4). A esta frecuencia fundamental se “superponen” ondas de mayor frecuencia y de menor amplitud, denominadas armónicos, que son múltiplos enteros de la frecuencia fundamental o F_0 (Fig. 1.4).

La percepción del sonido por los animales es variable entre especies e incluso entre individuos de la misma especie. Así, la intensidad es una característica física del sonido y el volumen es la percepción subjetiva de la cantidad de energía que tiene un sonido. La frecuencia también es una característica física del sonido y el tono es la percepción subjetiva de esta frecuencia. La cantidad de energía en cada armónico es otra

característica física del sonido que los animales percibimos como el timbre. El timbre es lo que nos permite distinguir sonidos con el mismo tono o frecuencia fundamental (Fig. 1.5). Si se analiza la onda compuesta de la Fig. 1.5, se puede observar la relación entre la frecuencia y la amplitud que guardan la F_0 y sus armónicos (que se muestran por separado en la Fig. 1.4).

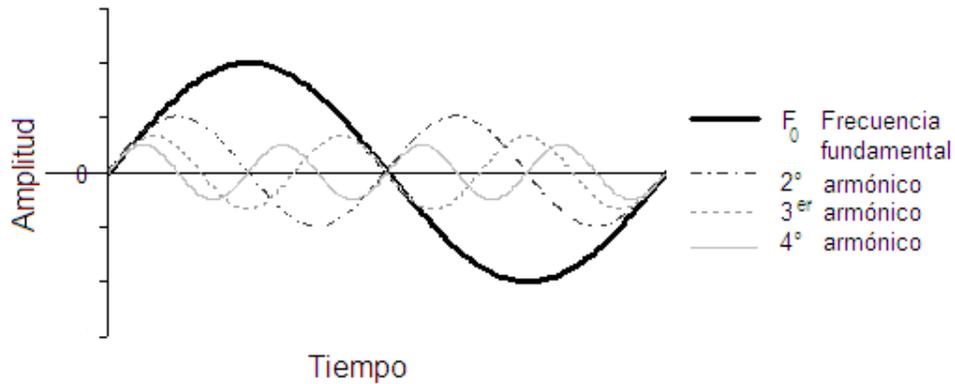


Figura 1.4. Oscilograma que muestra la relación entre la frecuencia fundamental, F_0 de un sonido y tres de sus armónicos (segundo, tercer y cuarto armónico).

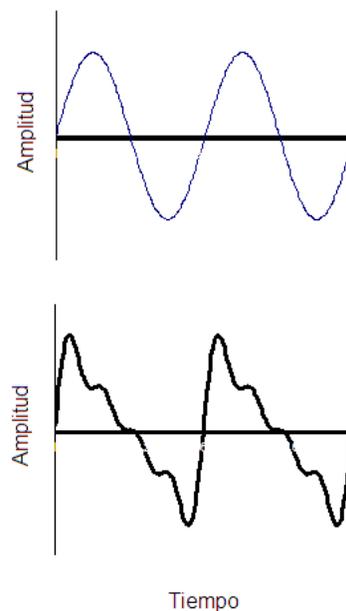


Figura 1.5. Oscilograma que muestra dos sonidos del mismo tono, pero con diferente timbre. Arriba, tono puro (sólo la F_0). Abajo, onda compuesta, que es la suma de ondas con distinta frecuencia (F_0 y sus armónicos).

I.2. Importancia del estudio de *Tursiops truncatus*

Los delfines son mamíferos marinos pertenecientes al orden Cetacea, suborden Odontoceti (cetáceos dentados), familia Delphinidae (delfines verdaderos). La especie *Tursiops truncatus* es la más estudiada de los delfines, dado que ha sido la que mejor adaptabilidad ha tenido al cautiverio. Se le conoce por varios nombres comunes, como tonina, tursión o delfín mular (Gallo Reynoso & Rojas Bracho, 1985) y es muy conocida en todo el mundo por su distribución cosmopolita en aguas tropicales y templadas (Fig. 1.6).

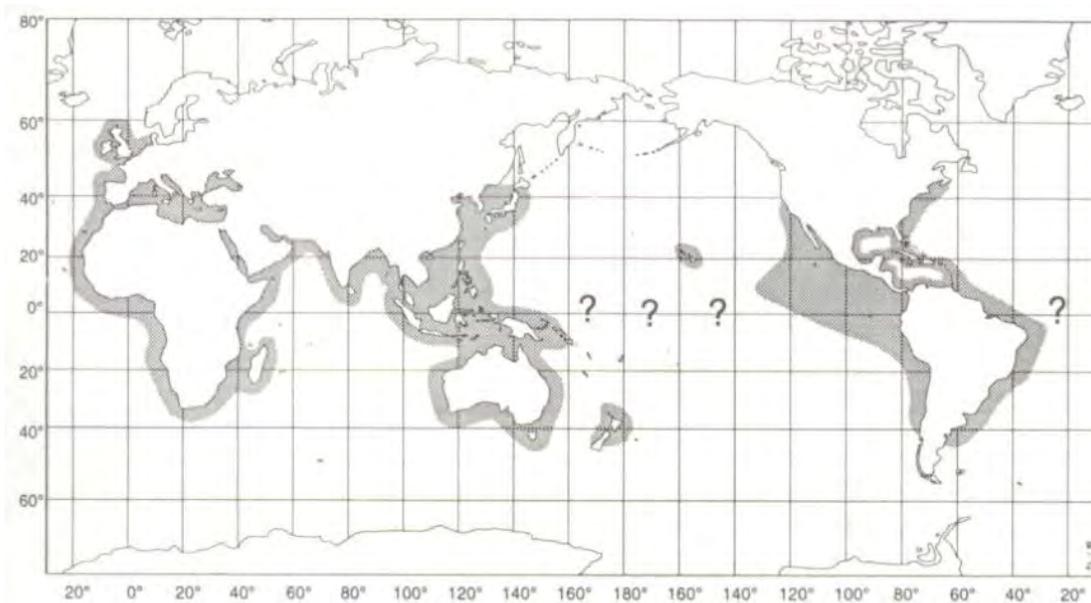


Figura 1.6. Distribución del delfín de la especie *Tursiops truncatus* en los océanos del mundo (tomado de Jefferson *et al.*, 1993). El signo de interrogación indica que en estas regiones no se tiene certeza de la existencia de esta especie.

Se conocen dos diferentes tipos de esta especie de delfín: el tipo costero, que se localiza en estuarios, bahías y lagunas costeras, y el tipo oceánico, que se encuentra más allá de la plataforma continental (Bazúa Durán, 1997). Las poblaciones costeras se alimentan principalmente de peces e invertebrados bénticos y epibénticos, mientras que las oceánicas depredan peces y calamares pelágicos y mesopelágicos (Reeves *et al.*, 2002). Particularmente, las poblaciones residentes en áreas costeras tienen una longevidad de hasta 40 años (Leatherwood & Reeves, 1990).

El estudio de los delfines de la especie *T. truncatus* es de gran interés debido a que esta especie puede funcionar como un organismo biomonitor (Wells *et al.*, 2004), ya que por sus hábitos alimenticios depredadores, lo cual implica que consumen a otros miembros de la comunidad, bioacumulan sustancias presentes en sus presas a concentraciones mucho mayores que éstas. Estas sustancias se almacenan principalmente en el tejido graso subepidérmico que los aísla del medio.

Las actividades humanas, incluyendo la actividad petrolera, impactan las zonas costeras debido a que los afluentes de los ríos acarrean al océano los contaminantes industriales y de las zonas urbanas (López Hernández, 2002). La actividad pesquera también afecta a las poblaciones de esta especie a diferentes niveles, incluyendo el beneficio mutuo, el beneficio único a los pescadores que asocian la presencia de delfines con la de peces, el beneficio único a los delfines que depredan a los peces de las artes de pesca, a veces destruyéndolas, y el perjuicio a los delfines, quienes pueden ser lastimados o morir al enmallarse o ser directamente atacados por los pescadores (Northridge & Hofman, 1999). Por ello, cuando un ecosistema costero es impactado, los delfines bioacumulan los contaminantes que contienen sus presas o presentan otro tipo de indicadores (p. ej., marcas dérmicas, cambios en el comportamiento, cambios en la reproducción), con lo que se puede monitorear el estado del ecosistema del que forman parte los delfines.

1.2.1. Estudios ecológicos en poblaciones de *Tursiops truncatus*

La mayoría de los estudios se han abocado a estudiar a los delfines desde la superficie marina, cuando estos animales pasan la mayor parte del tiempo bajo el agua. En consecuencia, actualmente se tiene un conocimiento incompleto de muchos aspectos de su biología y ecología, tales como el tamaño de sus poblaciones, su distribución geográfica, la ecología de su alimentación, su comportamiento de apareamiento y acústico, entre muchos otros (Berta *et al.*, 2006). Por ello, es necesario realizar un mayor número de estudios de estos organismos bajo el agua, como lo son los estudios de bioacústica pasiva (i.e., escuchando sus fonaciones).

I.2.2. Trascendencia de los estudios bioacústicos en cetáceos

La bioacústica ha resultado ser una extraordinaria herramienta para profundizar en el conocimiento de la etología y ecología de diferentes especies animales, principalmente en aquellas que no son directamente accesibles al investigador, ya sea por su movilidad o por el tipo de hábitat en el que se encuentran.

Actualmente, existen esfuerzos por conocer más sobre la bioacústica marina. Un ejemplo de ello es el proyecto ESONET, una red europea en la que colaboran 14 países y cuyo objetivo es la identificación y clasificación automática en tiempo real de sonidos de origen biológico y no biológico para poder realizar el monitoreo de organismos marinos y de su dinámica poblacional, el manejo y control del ruido antropogénico, la educación del público y la aprobación de los lineamientos éticos y procedimientos de explotación de los recursos marinos en el área (Andre *et al.*, 2008).

También se han realizado esfuerzos para conocer la función de los sonidos producidos por los cetáceos o fonaciones. El estudio de las fonaciones de los cetáceos es un campo fascinante, ya que éstas han sido consideradas como un lenguaje no humano (Dreher, 1961) cuya estructura y complejidad merece un mayor esfuerzo de investigación. Por ello, se han desarrollado equipos y programas de cómputo que mediante la acústica pasiva registran, localizan y clasifican los sonidos emitidos por los cetáceos, e incluso permiten hacer estimaciones de la abundancia de estas especies (Mellinger *et al.*, 2007). Mediante arreglos de hidrófonos es posible hacer el monitoreo de las fonaciones de los cetáceos e incluso distinguir individuos de distintas subespecies, como es el caso de la ballena azul antártica (*Balenoptera musculus intermedia*) y de la subespecie pigmea de Madagascar (*B. m. breviceuda*) (Samaran *et al.*, 2008).

Para poder conocer la posible función de una fonación particular se deben realizar estudios donde el contexto cuando es emitida la fonación está bien comprendido; se requiere observar el comportamiento del individuo emisor y conocer el hábitat en el que se está produciendo este sonido. En el caso de *T. truncatus*, se ha registrado que durante distintas actividades se emplean las fonaciones en distinta proporción (tanto silbidos, como pulsos de ecolocalización y pulsos explosivos; Bazúa-Durán & Herrera-Hernández, 2007). También se reportan diferencias en la tasa de emisión por el número de animales

presentes y por el hábitat; la tasa de emisión es mayor en individuos solitarios y también existen variaciones dependientes del hábitat en el que se encuentran los delfines (Nowacek, 2005).

Por ello, aún quedan muchos aspectos de la bioacústica en cetáceos que necesitan ser estudiados a detalle. Los investigadores debemos abocarnos a obtener resultados en las distintas áreas de la bioacústica en cetáceos para comprender mejor la ecología de estos animales y su relación con el ecosistema.

I.3. Audición y producción acústica en *Tursiops truncatus*

I.3.1. Evolución en cetáceos

El suborden Odontoceti comprende a algunos de los mamíferos que pasan toda su vida sumergidos en el agua y que presentan particularidades en su bioacústica, dada su historia evolutiva para adaptarse a una vida totalmente acuática. Estas adaptaciones se dieron en su mecanismo de respiración, en las estrategias para evitar la pérdida de calor corporal y para evitar la resistencia al movimiento en el agua, así como en compensar los cambios en la propagación del sonido en el agua, en la flotabilidad y en la incidencia de luz en el medio acuático (Berta *et al.*, 2006). Por ejemplo, el aparato respiratorio evolucionó cuando las narinas y sus vías aéreas asociadas se desplazaron dorsalmente por la elongación del cráneo.

El cetáceo más antiguo que se conoce, *Pakicetus inachus*, proviene del Eoceno (Fig. 1.7). Se trataba de un animal que habitaba mares someros y que se alimentaba de peces. En los cetáceos primitivos, las fosas nasales todavía no emigraban a la región posterior del cráneo, pero las extremidades posteriores ya eran vestigiales; su región auditiva carecía de las especializaciones de audición direccional de los cetáceos actuales. Los registros más primitivos del suborden Mysticeti datan del Oligoceno, *Aetiocetus cotylavelveus*, que es una forma intermedia entre las formas primitivas dentadas y las ballenas con barbas. El suborden Odontoceti apareció en el Oligoceno y para el Mioceno ya se había diversificado y presentaba el cráneo telescópico, dentadura homodonta y muchos más dientes que otros mamíferos euterios (Vaughan, 1986).

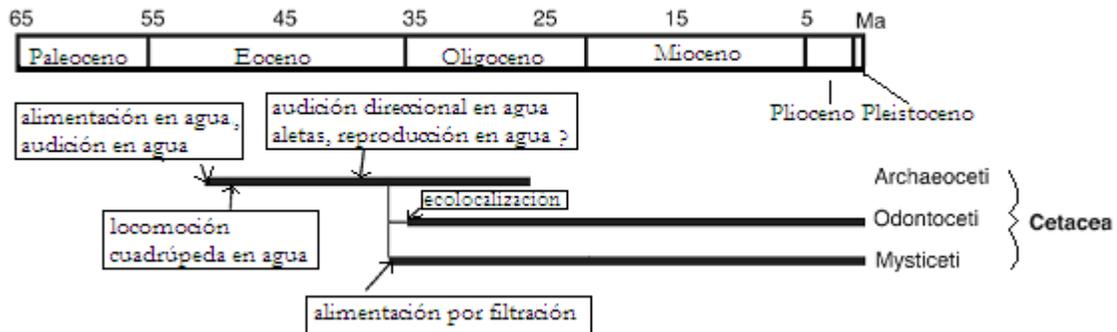


Figura 1.7. Aparición de los distintos grupos de cetáceos en el registro fósil, mostrando la cronología de las adaptaciones a la vida acuática en cuanto a hábitos alimenticios, desplazamiento y audición. Modificado de Vaughan (1986). Ma = millones de años.

1.3.2. Audición

La energía acústica se transmite de manera muy eficiente en el agua y los delfines han desarrollado notables sistemas de producción y recepción del sonido. La audición en los cetáceos tiene un ancho de banda amplio, desde 20 Hz hasta 150 kHz (Johnson, 1967), con variaciones individuales (Ridgway & Carder, 1997).

1.3.2.1. Rangos de audición

Dentro de los cetáceos se han encontrado tres diferentes tendencias evolutivas en los rangos de audición estimados anatómicamente al considerar las dimensiones de su membrana basilar (Ketten, 1994), ya que su oído interno tiene la misma estructura básica que la de los mamíferos terrestres: el sonido entra en la cóclea por medio de la ventana oval y hace vibrar a la membrana basilar, cuyo movimiento ejerce una fuerza sobre las células ciliadas, que a su vez generan una señal neuronal estimulada acústicamente.

La primera tendencia se observa en el suborden Mysticeti, en el cual el oído está especializado para sonidos de baja frecuencia, entre los 20 y los 200 Hz. Las otras dos tendencias muestran una especialización para sonidos de alta frecuencia y se observan en el suborden Odontoceti. La segunda tendencia se da en especies de la familia Delphinidae, como *Tursiops truncatus*, quienes muestran un rango óptimo de audición

entre los 40 y los 70 kHz, y la tercera tendencia se presenta en las familias Phocoenidae y Platanistidae, quienes se especializan en escuchar sonidos por arriba de los 100 kHz (Tyack, 2000).

I.3.2.2. Sensibilidad auditiva en *Tursiops truncatus*

La sensibilidad auditiva en los mamíferos está dada por la percepción del cambio en la frecuencia del sonido que se interpreta gracias a la forma de la membrana basilar. Ésta es estrecha y rígida en su región basal, por lo que se excita a altas frecuencias, mientras que en su región apical es ancha y flexible, por lo que se excita a bajas frecuencias. Por ello, las células sensoriales ubicadas a diferente distancia en la membrana basilar registran diferentes frecuencias.

La sensibilidad auditiva o audiograma en *T. truncatus* ha sido estudiada por diferentes autores. En la Fig. 1.8 se muestran los audiogramas obtenidos por diferentes estudios mediante estudios psicofísicos. Estos resultados concuerdan con los obtenidos recientemente mediante potenciales de audición evocados (AEP, por sus siglas en inglés) (Schlundt *et al.*, 2008). Su rango de audición va de 100Hz a 150 kHz, cubriendo un poco más de 10 octavas. La máxima sensibilidad se observa alrededor de los 40 dB re 1 μ Pa, con un ancho de banda de audición óptima entre los 40 y 70 kHz (Tyack, 2000). Su capacidad para discriminar cambios en el volumen, que es la percepción de la amplitud, es del 2% (Au, 1993).

La habilidad de discriminar diferentes frecuencias está relacionada con la densidad de neuronas que reciben las señales de las células nerviosas (Ketten & Wartzok, 1990). En *T. truncatus*, esta densidad es de 2500 células ganglionares/mm², por lo que son capaces de detectar un cambio en la frecuencia de 0.2% (Thompson & Herman 1975). Su resolución temporal, es decir, su habilidad de discriminar dos sonidos separados por silencio, es de 20 a 30 μ s (Zaslavski, 2008).

I.3.3. Producción acústica

En los mamíferos, la laringe contiene el mecanismo de emisión de sonidos (mecanismo de fonación) diseñado específicamente para la producción de la voz. La emisión de

sonidos está condicionada al movimiento de las cuerdas vocales; los movimientos de los cartílagos de la laringe permiten variar el grado de apertura entre las cuerdas, provocando una depresión o una elevación de la estructura laríngea. Los cambios en la tensión y longitud de las cuerdas vocales, ancho de la hendidura glótica e intensidad del esfuerzo espiratorio provocan variaciones en el tono de voz (Takemoto *et al.*, 2006).

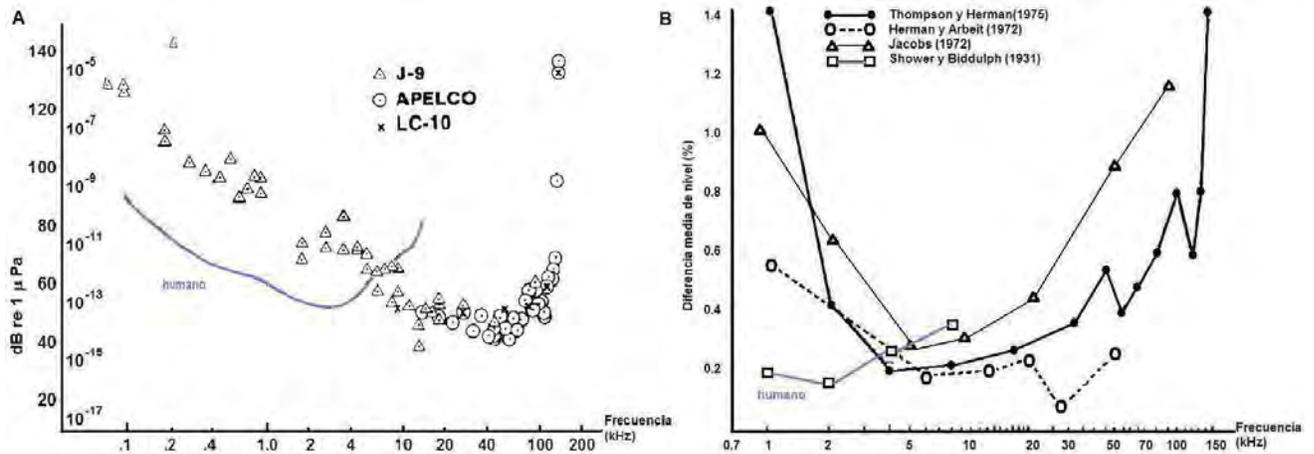


Figura 1.8. A: Umbral de audición en *Tursiops truncatus* reportado por diferentes estudios. B: Discriminación en los cambios de intensidad como porcentaje de la amplitud. Tomado de Au (1993).

La frecuencia de cierre y apertura de la glotis debida a la presión del flujo de aire traqueal caracteriza la fonación. A esta frecuencia se le llama frecuencia glótica y es la frecuencia fundamental, F_0 del sonido producido. Posteriormente, el tracto vocal funciona como un filtro (o conjunto de filtros mecánicos) que enfatiza algunos de los componentes del sonido producido para dar lugar al espectro glotal; se enfatizan especialmente los componentes que coinciden con la frecuencia de resonancia del tracto vocal. En humanos, estos componentes de mayor energía en el espectro resultante son los formantes, siendo la cavidad laríngea una de las estructuras del tracto vocal que genera uno de los formantes (Takemoto *et al.*, 2006).

1.3.3.1. Mecanismos de producción acústica en *Tursiops truncatus*

A diferencia de los demás mamíferos, la función de la laringe en los cetáceos es controversial (Dormer, 1979). En el suborden Mysticeti, la fuente de emisión de sonido se

supone que es la laringe, ya que este grupo carece de cuerdas vocales (Rice, 1983). La variedad de sonidos emitidos por las ballenas va desde los gemidos, con una duración de 36 s y con frecuencias entre los 20 y los 200 Hz, los gruñidos, con frecuencias entre 40 y 200 Hz, varios gorjeos, llantos y silbidos con frecuencias de más de 1000 Hz y chasquidos con frecuencias de hasta 30kHz. Se cree que el desarrollo de la ecolocalización utilizando chasquidos pudo haber sido el precursor de la divergencia en el ambiente acuático entre misticetos y odontocetos (Morisaka, 2005).

En el suborden Odontoceti, apareció un complejo de sacos aéreos supracraneales de particular asimetría en el sistema respiratorio (Fig. 1.9, 1.10, 1.11). Este complejo es tan diferente al tracto respiratorio de los demás mamíferos que permite a los delfines la producción de sonidos en cuatro diferentes focos y la emisión simultánea de cuatro sonidos (Markov & Ostrovskaya, 1990).

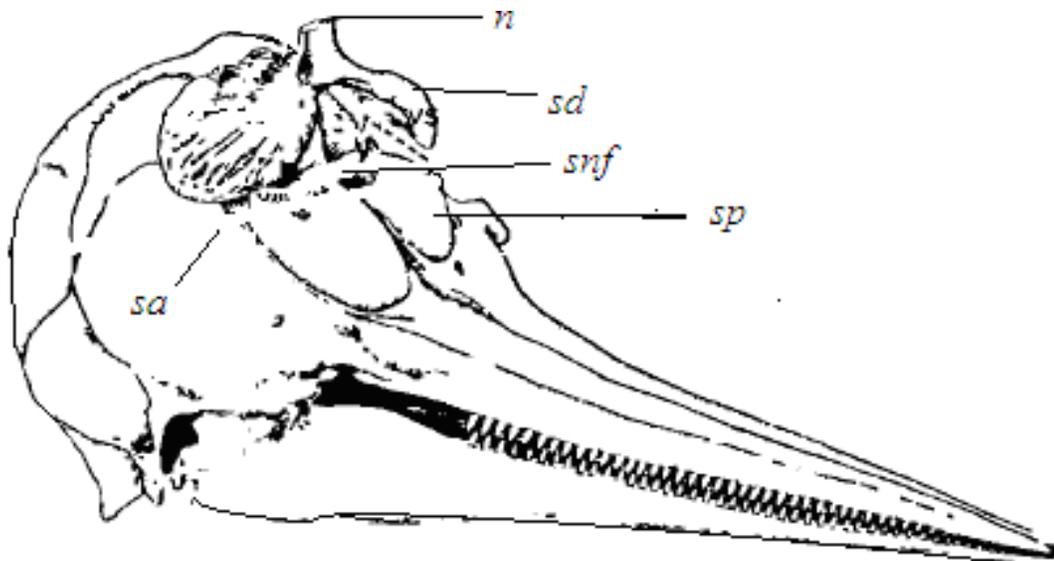


Figura 1.9. Esquematización del sistema de sacos aéreos nasales supracraneales en delfines. n, narinas; sd, sacos dorsales; snf, sacos nasofrontales; sp, sacos premaxilares; sa, sacos accesorios. Tomado de Dormer (1979).

El mecanismo neumático interno de la producción de sonidos se ha observado mediante cine-radiografía (Dormer, 1979) y video-grabación de alta velocidad (Cranford et al., 1997), y es a partir de estos estudios que se concluyó que en la laringe no hay emisión

de sonido, sino sólo control del flujo de aire de los pulmones hacia el complejo de sacos aéreos (Cranford *et al.*, 1999). La estructura del sistema de producción sonora (Fig. 1.11), junto con la musculatura diferenciada, permite a los delfines pasar aire de los segmentos inferiores a los superiores y de regreso, de tal manera que pueden usar una cantidad mínima de aire para la generación de múltiples sonidos. Los resonadores, en este caso los sacos dorsales, nasofrontales y accesorios (Fig. 1.9), tienen músculos con los que pueden cambiar su talla y configuración (Solntseva & Rodionov, 2007). Así, el espacio nasofaríngeo con sus estructuras asociadas son la fuente de energía y de aire para la producción de sonidos internos y externos (Dormer, 1979). Estas estructuras de producción sonora son únicas en el reino animal y se componen de un sistema de sacos aéreos con válvulas nasales y los llamados labios fónicos, entre otros (Fig. 1.9, 1.10, 1.11).

La estructura de las válvulas nasales, los labios fónicos y el septo nasal en los delfines permite la operación independiente de los pasajes nasales derecho e izquierdo, por los que cada mitad del sistema contiene dos fuentes sonoras y dos o tres resonadores, los cuales permiten generar un amplio espectro de chasquidos y silbidos (Solntseva & Rodionov, 2007).

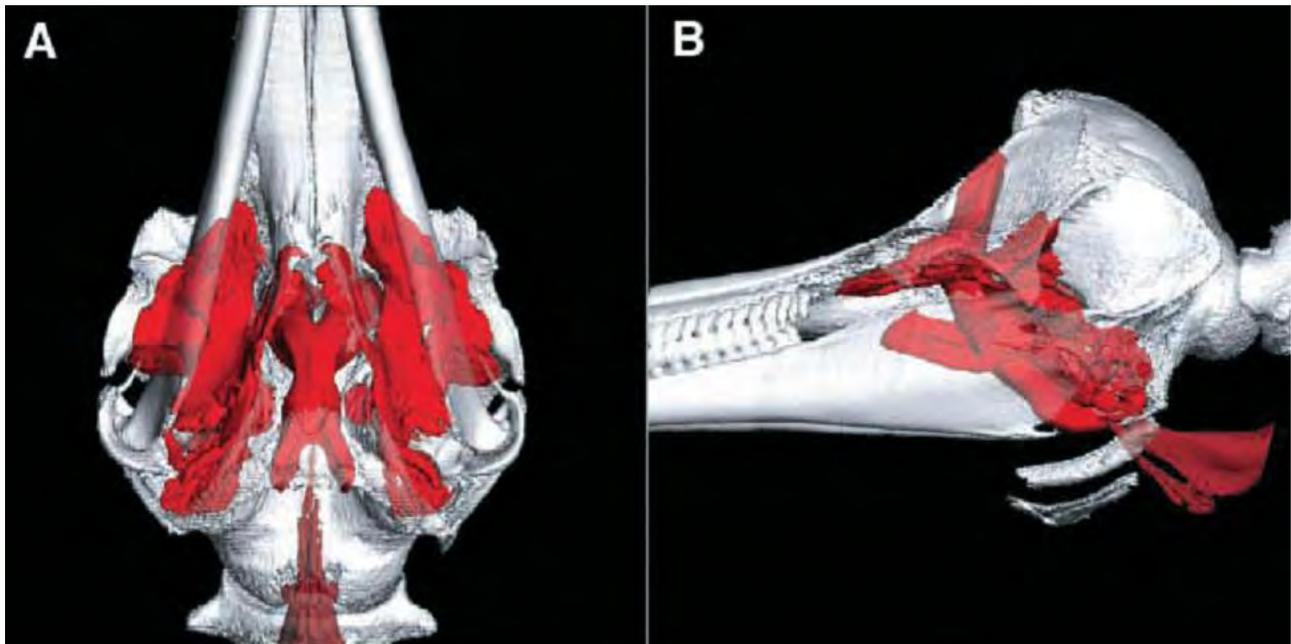


Figura 1.10. Imagen de tomografía computarizada en tres dimensiones mostrando la vista (A) inferior (ventral) y lateral (B) de la anatomía de la cabeza de *Tursiops truncatus*. Tomado de Houser *et al.* (2004).

Las emisiones acústicas de los delfines típicamente se clasifican en silbidos de banda restringida y chasquidos de ecolocalización de banda ancha, además de los chasquidos explosivos. Cabe mencionar que la producción de silbidos puede ser afectada por la profundidad, como se reporta en un estudio en beluga (Ridgway *et al.*, 2001), mientras que la de chasquidos no lo es; los silbidos emitidos a una profundidad mayor a 100 m son más tenues y con componentes de mayor frecuencia (Ridgway *et al.*, 2001).

Al igual que el cráneo, el complejo de sacos de los delfines es asimétrico, los sacos del lado derecho son más grandes que los del izquierdo (Fig. 1.11). La F_0 de los silbidos se produce por la vibración de la válvula nasal izquierda, por lo que se sugiere que en los delfines la estructura izquierda es la que interviene en la producción de silbidos (Dormer 1979; Cranford *et al.*, 2000). Las válvulas nasales derecha e izquierda se mueven durante la producción de chasquidos, por lo que especula que los chasquidos son producidos por ambos lados (Dormer 1979; Cranford *et al.*, 2000). Así, el mismo delfín puede emitir ambos tipos de sonidos simultáneamente.

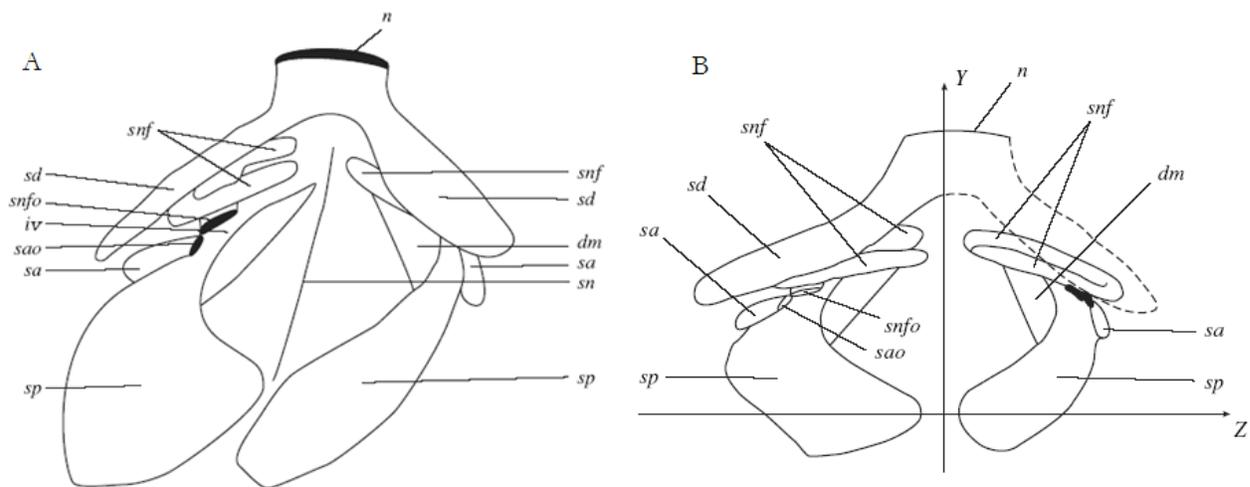


Figura 1.11. Sistema de sacos aéreos nasales supracraneales en *Tursiops truncatus*. A: vista superior-derecha y B: vista de frente, mostrando los ejes y y z para denotar la asimetría de las estructuras. dm, membrana diagonal; iv, vestibulo inferior; n, narinas; sa, sacos accesorios; sao, abertura de los sacos accesorios; sd, sacos dorsales; sn, septum nasal; snf, sacos nasofrontales; snfo, abertura de los sacos nasofrontales; sp, sacos premaxilares. Tomado de Rodionov (2001).

I.3.3.2. El repertorio de sonidos de *Tursiops truncatus*

Los delfines emiten una gran variedad de sonidos, cuya descripción se basó inicialmente en la similitud con otros sonidos conocidos, lo cual resultaba muy subjetivo (Thomas, 2001). Actualmente, se consideran dos tipos de emisiones basándose en sus características acústicas (Herman & Tavolga, 1980) (Fig. 1.12):

a) Los chasquidos, señales direccionales de corta duración (80-150 μ s) y con un ancho de banda de hasta 200 kHz (Au, 1993) y

b) Los silbidos, señales continuas casi omnidireccionales de larga duración (de hasta más de 1 s) y de frecuencia modulada, con energía hasta los 80 kHz en sus armónicos (Lammers *et al.*, 2003) y con frecuencias fundamentales entre 1 y 35 kHz (Bazúa-Durán & Au, 2002).

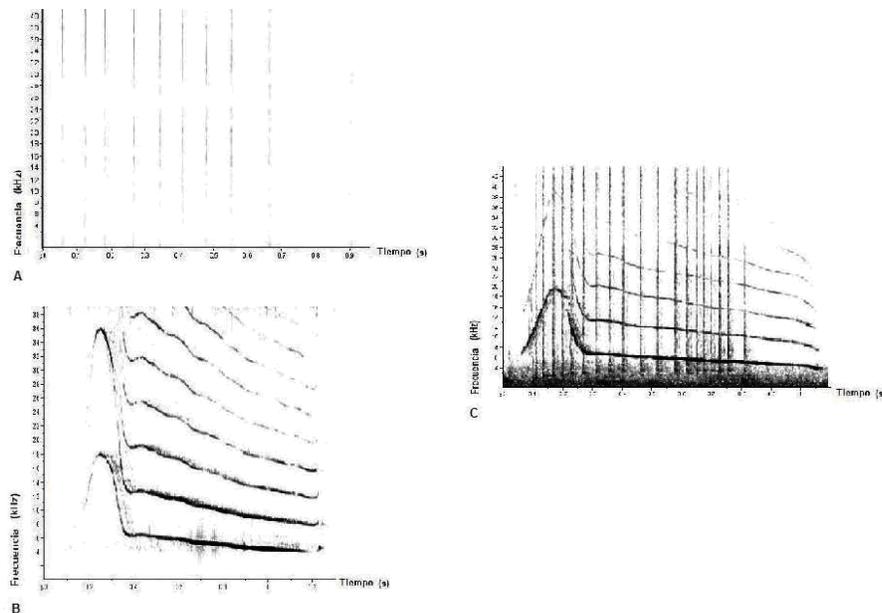


Figura 1.12. Espectrograma de los dos diferentes tipos de sonidos emitidos por *Tursiops truncatus*. A: chasquidos formando un tren de ecolocalización. B: silbido y C: silbido y chasquidos emitidos simultáneamente. La frecuencia máxima mostrada es de 20 kHz debido al sistema de grabación utilizado.

Todas las especies de odontocetos producen chasquidos, más no todas silban (Au, 1993; Morisaka & Connor, 2007). La producción de silbidos probablemente apareció después de la divergencia de las familias Delphinidae y Platanistidae, hace alrededor de

17 a 23 millones de años (correspondiendo al registro fósil y filogenia molecular según Hamilton *et al.*, 2001) o hace 28.9 millones de años (de acuerdo al estudio molecular de Nikaido *et al.*, 2001). Los factores que pudieron jugar un papel importante en la evolución de la producción de silbidos son (May-Collado *et al.*, 2007): a) la complejidad social que se asocia a la complejidad de estas señales, ya que en una estructura social compleja se presentará señales más complejas, mientras que los delfines solitarios mantendrán silbidos más simples; b) el hábitat, debido a que los delfines oceánicos emiten silbidos de alta frecuencia, mientras que las especies costeras producen silbidos de baja frecuencia; y c) el tamaño corporal, el cual puede determinar la frecuencia máxima de las emisiones acústicas. Herman & Tavolga (1980) sugieren que los silbidos surgieron como un beneficio especial para los odontocetos gregarios. Sin embargo, los odontocetos debieron haber desarrollado la habilidad de producir silbidos antes de que aparecieran especies que forman grupos numerosos, como los delfínidos oceánicos, ya que especies solitarias como las de la familia Lipotidae también producen silbidos. Por lo tanto, el origen de los silbidos debió ser por varias razones.

Posteriormente, en las familias Pontoporiidae, Phocoenidae y en el género *Cephalorhynchus* spp. se produjo independientemente una pérdida en la habilidad de producir silbidos, probablemente porque adoptaron esta pérdida como una estrategia antidepredatoria, restringiendo al mínimo la energía contenida en sus fonaciones por debajo de los 100kHz (Morisaka & Connor, 2007). Esta hipótesis concuerda con el hecho de que estas especies no silbadoras son pequeñas, tímidas, muy evasivas y habitan principalmente aguas costeras (Morisaka & Connor, 2007).

Según Tyack (1986), los silbidos sólo se emplean en la comunicación entre individuos, mientras que los chasquidos se utilizan tanto en la comunicación entre individuos (Dawson, 1991) como en la inspección de su ambiente o ecolocalización (Au, 1993).

I.3.3.3. Características acústicas de los silbidos

Como ya se mencionó, los silbidos son señales continuas casi omnidireccionales de larga duración (de hasta más de 1 s) y de frecuencia modulada, con energía hasta los 80 kHz en sus armónicos (Lammers *et al.*, 2003) y con frecuencias fundamentales entre 1 y 35 kHz (Bazúa-Durán & Au, 2002).

A pesar de ser las vocalizaciones más variables de los delfines, el análisis y categorización de los silbidos ha sido más factible que el de los chasquidos debido a sus características acústicas. Al analizar la modulación de la frecuencia con respecto al tiempo de los silbidos en un espectrograma se observa su contorno o frecuencia fundamental, F_0 (Dreher, 1961) (Fig. 1.12B, 1.13, 1.14). Existen silbidos que tienen contornos muy variables y otros que mantienen su contorno muy estable, es decir, son silbidos estereotipados. Algunos autores sugieren que son los silbidos estereotipados los que tienen un significado biológico (Tyack, 2002).

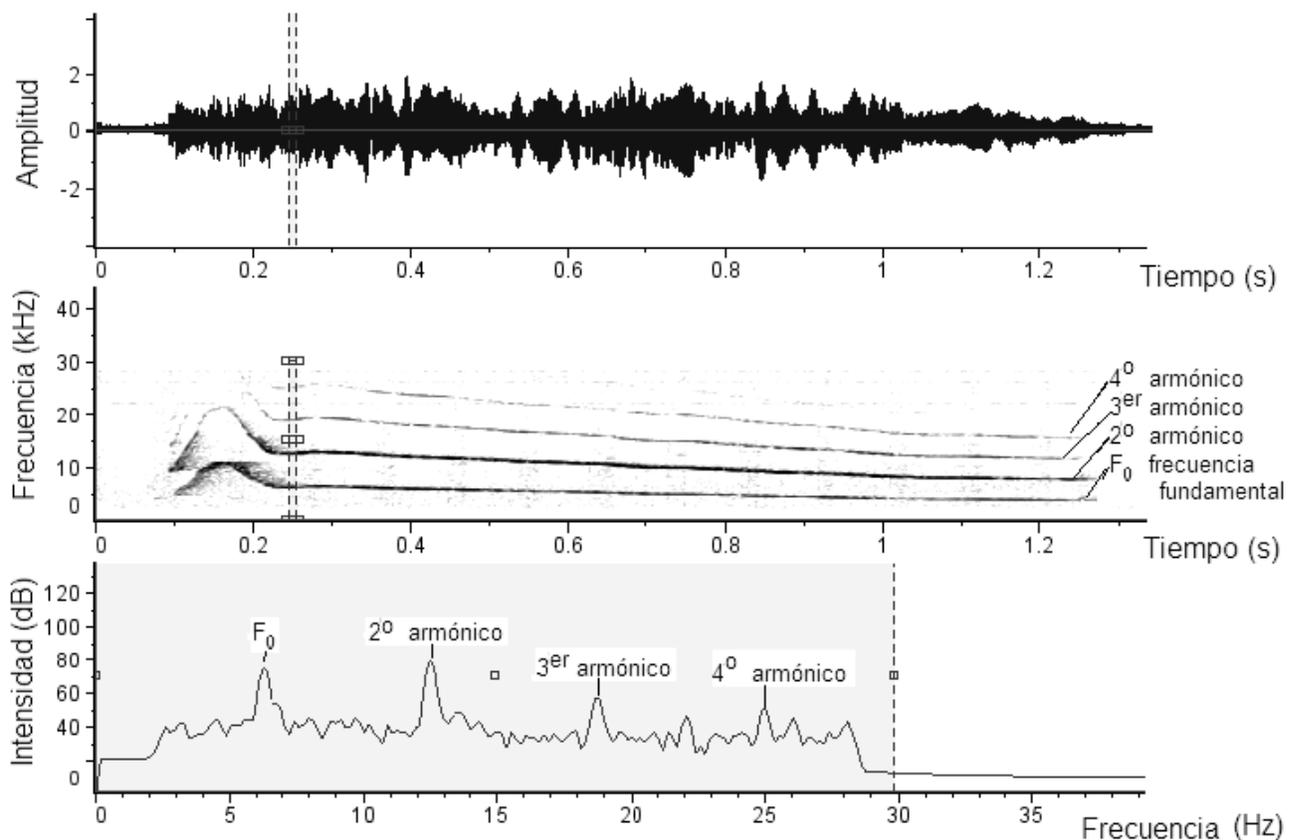


Figura 1.13. Representación gráfica de un silbido de *Tursiops truncatus*. Arriba, oscilograma, en medio: espectrograma, abajo: espectro. El espectrograma es la gráfica más utilizada para describir a los silbidos y muestra el contorno o frecuencia fundamental, F_0 del silbido y hasta el cuarto armónico. El espectro se calculó para el intervalo de tiempo mostrado en el recuadro punteado del oscilograma y/o espectrograma.

Cada contorno se puede caracterizar por parámetros de frecuencia, tiempo y amplitud (Fig. 1.13), considerando valores mínimos, máximos, centrales, medios, iniciales, finales y pico, además de otras características, como lo son los puntos de inflexión, los escalones o niveles y el número de armónicos (Fig. 1.14). Es decir, se consideran en la descripción del contorno de los silbidos la duración y modulación en la frecuencia realizando mediciones absolutas (Dreher, 1961; Evans & Prescott, 1962; Herman & Tavolga, 1980; Bazúa-Durán & Au, 2002). Los contornos también se pueden clasificar en categorías fijas, como constante, ascendente, descendente, cóncavo, convexo y sinusoidal, o en categorías variables establecidas de acuerdo al clasificador (Bazúa-Durán & Au, 2002).

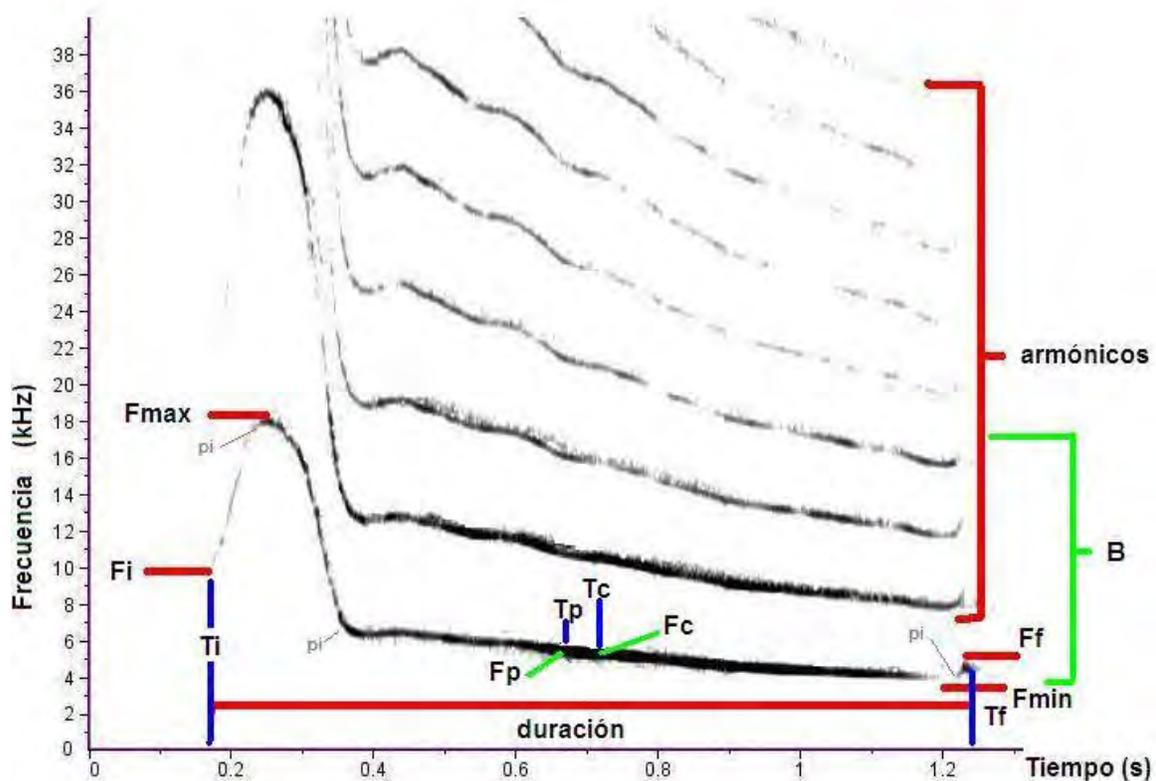


Figura 1.14. Espectrograma de un silbido de *Tursiops truncatus* mostrando algunos de los parámetros acústicos que se miden para el contorno. T_i : tiempo inicial, T_f : tiempo final, $\text{duración} = T_f - T_i$, F_i : frecuencia inicial, F_f : frecuencia final, F_{min} : frecuencia mínima, F_{max} : frecuencia máxima, B : ancho de banda = $F_{\text{max}} - F_{\text{min}}$. El punto en donde se presenta la mayor amplitud corresponde al T_p : tiempo pico y a la F_p : frecuencia pico, mientras que T_c : tiempo central y F_c : frecuencia central corresponden al punto donde la cantidad de energía es la mitad a ambos lados del punto. También se consideran el número de armónicos visibles y el número de puntos de inflexión (π_i).

Para *T. truncatus*, los silbidos se consideran ideales como llamadas de contacto dada la variabilidad en sus características acústicas (Ralston & Herman, 1989; Tyack, 2000), ya que esta especie presenta una estructura social de fisión-fusión aparentemente basada en relaciones de largo plazo en un ambiente complejo (Wells, 1991; Reynolds & Wells, 2003). Sin embargo, dado que aún se desconoce cuál es la fuente exacta de producción sonora de los silbidos, no se sabe con certeza si en esta especie existen estructuras anatómicas con características individuales que pueden ser responsables de una voz como en los mamíferos terrestres. De hecho, algunos investigadores sostienen que *T. truncatus* discrimina individualmente los silbidos de sus conespecíficos no necesariamente por la voz, sino por lo que han denominado el “silbido firma” que le da la identidad acústica a cada individuo (Caldwell & Caldwell, 1965; Caldwell *et al.*, 1990). Un silbido firma consiste de un silbido con un contorno altamente estereotipado y cuya estructura acústica se mantiene estable hasta por periodos de 12 años y del cual aparecen variantes (Sayigh *et al.*, 1990). Además, existen diferencias en los silbidos firma de hembras y machos (Sayigh *et al.*, 1990).

I.4. Planteamiento del problema

Tursiops truncatus ha sido el odontoceto más estudiado bioacústicamente. Sin embargo, la mayor parte del esfuerzo de investigación que actualmente se realiza sobre sus silbidos es sobre el estudio de los silbidos firma (Tyack, 2000; Janik *et al.*, 2006), por lo que existe una polémica entorno a esta hipótesis que sugiere que cada delfín tiende a producir silbidos estereotipados (p. ej., McCowan & Reiss, 2001). Lilly (1963) encontró un tipo de silbido asociado con el estrés físico, el cual podría ser el silbido que fue denominado “silbido firma” por Caldwell & Caldwell (1965).

Tyack, Sayigh, Janik y colaboradores forman el grupo de investigación que apoya la hipótesis del silbido firma. Ellos han realizado diversos estudios con animales en cautiverio para determinar el uso que le dan los delfines a sus silbidos y han desarrollado metodologías para su análisis. Janik *et al.* (1994) encontraron que existen variaciones temporales en la emisión del mismo contorno emitido en diferentes situaciones (N=1743 silbidos para un individuo). Posteriormente, Janik & Slater (1998) encontraron que los silbidos firma únicamente se producían cuando un delfín se separaba del resto del grupo

voluntariamente (N=2472 silbidos para cuatro individuos). Por ello, plantearon que las características estereotipadas del silbido firma transmiten información sobre la identidad del emisor en situaciones de aislamiento y ayudan a la cohesión de la manada (Janik & Slater, 1998). Esto fue corroborado para hembras con cría en vida libre por Smolker *et al.* (1993) y con animales silvestres temporalmente retenidos por Watwood *et al.* (2005). Finalmente, Janik (1999) comparó la clasificación de los contornos realizada por varios observadores humanos con la realizada con tres diferentes métodos automatizados (N=104 silbidos para cuatro individuos). Los resultados mostraron discrepancias entre los métodos, siendo más parecidas entre sí las clasificaciones de los distintos observadores humanos. Se discute que este resultado puede ser consecuencia de que los métodos automatizados se programan bajo ciertos supuestos que no son todos los utilizados por el cerebro humano (Janik, 1999). Sin embargo, la clasificación de los contornos realizada por los humanos implica subjetividad, ya que depende de la percepción y pondera de acuerdo al contexto en el que se realiza la clasificación. La clasificación automatizada no implica subjetividad. Por ello, Deecke & Janik (2006) desarrollaron un método que permite extraer el contorno (p. ej., Buck & Tyack, 1993) para compararlo con otros contornos utilizando redes neuronales y obtener una clasificación de los distintos tipos de contornos. Deecke & Janik (2006) encontraron que la clasificación automatizada coincidió con la humana en el caso de los silbidos firma y, para el resto de los contornos, la clasificación automatizada fue más fina, es decir, se obtuvieron muchas más categorías. Este método de clasificación de contornos permite establecer categorías objetivas y con un índice de similitud establecido, haciéndolas comparables y repetibles.

Otro grupo de investigadores, entre ellos McCowan & Reiss (2001), refutan la hipótesis del silbido firma porque los delfines en cautiverio que estudiaron usaban predominantemente un contorno compartido. Este fenómeno se ha observado en otros grupos de mamíferos y aves sociales (p. ej., Sousa-Lima *et al.*, 2002; Searby *et al.*, 2004), en los que mediante el aprendizaje vocal las especies alcanzan una convergencia vocal, ya que desarrollan una llamada distintiva de su grupo (Watwood *et al.*, 2004).

El compartir un contorno ha sido descrito por el grupo de investigación que apoya la hipótesis del silbido firma como si los delfines “imitaran” los silbidos de sus compañeros de estanque o imitaran ocasionalmente los silbidos de otros animales con los que pueden

tener contacto acústico (Tyack, 1986). Sin embargo, Janik & Slater (1998) encontraron que el copiado de silbidos firma fue raro y que no iniciaba reuniones ni respuestas acústicas.

Por ello, McCowan y colaboradores sugieren que la hipótesis del silbido firma debe ser analizada en un contexto etológico y de interacciones sociales; sus investigaciones se han enfocado al estudio del repertorio completo de silbidos para comprender cómo es la comunicación en delfines utilizando silbidos. Compararon el repertorio de los silbidos de delfines adultos en cautiverio provenientes de diferentes grupos sociales (N=185 silbidos para diez individuos) empleando la técnica de similitud de contorno (McCowan, 1995) y encontraron que los delfines comparten muchos contornos, incluyendo uno que es común a todos ellos (McCowan & Reiss, 1995a). También han estudiado el desarrollo de los silbidos de delfines nacidos en cautiverio desde recién nacidos hasta un año de edad (N=40 silbidos por individuo cada mes para ocho individuos; McCowan & Reiss, 1995b), encontrando que hay contornos compartidos entre crías y entre crías y adultos, además de que la estructura acústica de los mismos se va modificando, lo que sugiere una posible convergencia en la estrategia del desarrollo y aprendizaje vocal entre delfines, aves y humanos (McCowan & Reiss, 1995b).

McCowan *et al.* (1998) analizaron la estructura acústica de los contornos de hembras adultas buscando parámetros que permitieran discriminar entre individuos, grupos sociales o localidad de captura (N=304 silbidos para cinco individuos). Sus resultados sugieren que los contornos se ven influenciados por un factor social y relacionan este hecho con la estructura de fusión-fisión que se ha observado en poblaciones silvestres (McCowan *et al.*, 1998).

Finalmente, para definir la complejidad del lenguaje y aprendizaje o adquisición del lenguaje en delfines, McCowan *et al.* (1999, 2002) aplicaron la teoría de la información utilizando los contornos de los silbidos de estudios previos (p. ej., McCowan & Reiss, 1995a, 1995b) y encontraron que la teoría de la información permite medir la diversidad de las fonaciones en diferentes especies cuyos repertorios presentan una complejidad comparable al lenguaje humano (McCowan *et al.*, 1999, 2002), como son los delfines y los primates.

Cabe mencionar que en los estudios de McCowan y colaboradores el método empleado para adjudicar el silbido al delfín que lo produjo fue la emisión de burbujas simultánea a la emisión del silbido (p. ej., McCowan, 1995; McCowan & Reiss, 1995a, 1995b; McCowan *et al.*, 1998). Fripp (2005) comprobó que los silbidos acompañados de

burbujas no son representativos de los silbidos producidos por los delfines (N=20,000 silbidos para seis individuos; tres hembras y sus crías), ya que el 76% de las burbujas estaban asociadas con la emisión de silbidos, pero sólo el 1% de los silbidos se emitía con burbujas.

Por ello, al grabar en el mar o en los estanques se registran diversos sonidos cuya fuente no está identificada; se registran silbidos de todo el grupo de delfines sin poder asegurar si se trata de un solo emisor o si existe un intercambio de fonaciones entre varios individuos debido a que los delfines no realizan alguna pauta visual que indique que un individuo está emitiendo el sonido, además de que en el agua la velocidad de propagación del sonido es de 1500m/s, más de cuatro veces la velocidad del sonido en el aire. Como tampoco se ha estudiado a detalle la intensidad con la que los delfines silban, no se puede asegurar que la emisión corresponda al grupo observado o a otro grupo ubicado dentro del espacio activo de comunicación. El rango de alcance de los silbidos puede ser de varios kilómetros dependiendo de su frecuencia, por lo que los delfines tienen un espacio activo de comunicación muy amplio (Janik, 2000). Esto dificulta la localización de la fuente sonora, requiriendo forzosamente del empleo de arreglos de hidrófonos de dimensiones considerables que sean capaces de resolver dicha localización.

Los pocos estudios que han logrado emplear métodos de localización de la fuente sonora, cuya logística implica una mayor inversión de tiempo, recursos y esfuerzo, se encuentran con una segunda dificultad, la de asociar la fonación emitida con la conducta realizada, ya que el comportamiento se registra parcialmente al observar sólo a los animales que están en la superficie, desconociendo si los que se encuentran sumergidos realizan la misma actividad.

Por ello, existen relativamente pocos estudios en cuanto al papel social y el contexto ecológico de los silbidos, es decir, sobre el papel de los silbidos en la comunicación y la coordinación entre delfines. Este avance reducido en los estudios bioacústicos en delfines obedece a la dificultad de identificar al emisor de cada silbido y de asociar el comportamiento acústico con el no acústico; a diferencia de estudios en animales terrestres en los que los investigadores escuchan e identifican visualmente al individuo que emite cada sonido, pudiendo registrar las pautas de comportamiento asociadas a cada emisión (p. ej., pingüinos, Jouventin *et al.*, 1999; zorros, Frommolt *et al.*, 2003; lobos marinos, Charrier & Harcourt, 2006).

Por ejemplo, un estudio realizado en un ambiente semicontrolado empleó un arreglo de hidrófonos para localizar al delfín silbante (Thomas *et al.*, 2002). Sin embargo, alcanzar la meta se complicó dadas las condiciones de la laguna y porque el número de delfines en estudio era de ocho. Entonces, Thomas (2001) centró su análisis en comparar las fonaciones registradas durante los comportamientos de agresión con las producidas cuando se observó un comportamiento sumiso y sugirió hacer un estudio con comportamientos más específicos.

Estudiando poblaciones silvestres, la producción de silbidos es muy variable y se han reportado variaciones geográficas en el repertorio y uso de los silbidos (Bazúa Durán, 1997). Los animales solitarios forrajeando tienen una emisión de silbidos mayor que cuando se encuentran en grupo (Nowacek 2005). Herzing (2005) encontró que en eventos de alarma y estrés extremo las vocalizaciones dominantes fueron los silbidos-graznidos. Durante las reuniones madre-cría, las madres producían un silbido particular después de que las crías se alejaban y entonces éstas regresaban; lo mismo sucedía con el cuidado aloparental, donde los adultos del grupo (hembras o machos) emitían un silbido estereotipado previo al retorno de los juveniles (Herzing, 2005). Durante la separación individual, cuando un delfín se separaba del grupo y se ubicaba cerca o sobre el fondo, emitía un silbido particular mientras giraba la cabeza (Herzing, 2005). Cuando los delfines forrajeaban o se alimentaban emitían principalmente trenes de ecolocalización, pero también emitían silbidos ascendentes (Herzing, 2005). Así, en general, la emisión de silbidos es más frecuente mientras los delfines socializan (Bazúa Durán, 2001), lo que indica que son empleados para la comunicación. Sin embargo, en algunas poblaciones existen diferencias entre los silbidos registrados en distintos contextos, pero en otras no, por lo que no se puede generalizar (Jones & Sayigh, 2002).

Por ello, la identificación de los delfines de una manada no puede darse únicamente por un sólo tipo de silbido (dado que los silbidos firma no se producen en todas las circunstancias), sino por la “voz” del emisor. Los estudios realizados que afirman que los delfines *Tursiops* spp. son capaces de discriminar los silbidos firma de diferentes individuos se han realizado con base en experimentos de reproducción de grabaciones (“play back” en inglés) (p. ej., Sayigh *et al.*, 1990, 1999), lo que deja un amplio rango de subjetividad.

Los delfines deben tener una manera de distinguir, en cualquier situación, qué individuo está realizando qué sonido, como se ha observado en otros mamíferos con una audición más reducida en comparación con la de los odontocetos (p. ej., Frommolt *et al.*, 2003; Engh *et al.*, 2006). Actualmente, aunque varios estudios han desarrollado metodologías para el análisis de los silbidos realizando su clasificación al establecer categorías objetivas y con un índice de similitud establecido (haciéndolas comparables y repetibles; p. ej., Buck & Tyack, 1993; Janik *et al.*, 1994; Janik & Slater, 1998; Janik, 1999; Deecke & Janik, 2006), no se han definido cuantitativamente ni se han desarrollado índices para comparar la similitud entre diferentes silbidos en repertorios completos de delfines específicos.

Para lograr la discriminación entre delfines, como se da en los seres humanos y otros mamíferos, es necesario encontrar la forma de identificar a los delfines a partir de sus silbidos mediante un análisis de las características físicas de los mismos. La identificación de individuos dentro de una población puede generar información sobre los parámetros de la historia de vida indispensables para el desarrollo de modelos de conservación, puede hacer patente características ecológicas determinantes en decisiones de manejo y puede ser útil para evitar errores de metodología en el muestreo (Terry *et al.*, 2005). Se ha demostrado que las emisiones sonoras pueden dar información sobre el individuo, como su identidad, sexo, edad, talla, parentesco e, incluso, su estado reproductivo (p. ej., Slater, 2003; Berta *et al.*, 2006; Jouventin *et al.*, 1999). El que los investigadores podamos desarrollar un método para poder realizar una identificación semejante es de gran trascendencia, ya que permitiría no sólo el estudio de las especies que habitan lugares de difícil acceso visual (como el medio marino en el caso de los cetáceos), sino también el estudio de otras especies con la menor intrusión posible.

En resumen, los estudios con delfines en cautiverio y silvestres han permitido conocer parcialmente la estructura del repertorio de los silbidos, así como su uso. Sin embargo, la mayoría de las investigaciones reportadas en la literatura no aportan suficiente información sobre las características y uso que le dan los delfines a sus silbidos, además de que falta elucidar un método que permita comparar los repertorios de silbidos de los delfines tanto mantenidos en cautiverio como de poblaciones silvestres. Por otro lado, falta explorar los repertorios completos de los silbidos de los delfines individualmente y asociar los mismos a situaciones particulares.

Así, la propuesta de este trabajo es, mediante la grabación de silbidos de delfines en cautiverio nadando libremente, obtener una base de datos acústicos considerando todo el repertorio de silbidos y no sólo una fracción del mismo. Se responderá a interrogantes relacionadas con las características acústicas y el uso de los silbidos; como por ejemplo, si los delfines comparten silbidos (i.e., cómo es la variabilidad acústica de los mismos), si es comparable el repertorio entre diferentes delfinarios o entre animales de diferente lugar de origen, si se emiten silbidos asociados a situaciones particulares o si es posible discriminar individuos empleando determinados parámetros acústicos y, si así fuera, cómo extrapolar este conocimiento a grabaciones de delfines silvestres.

En conclusión, este trabajo con delfines en cautiverio puede ser un avance importante en la bioacústica de delfines si se logran establecer las pautas acústicas asociadas a la discriminación e incluso a la identificación de individuos. De esa manera se podrá establecer el papel de los silbidos en la ecología de *Tursiops truncatus*.

I.5. Objetivos

I.5.1. Objetivo general

Mediante el análisis de los silbidos de delfines en cautiverio nadando libremente, establecer las variaciones en las características de los silbidos de los delfines de la especie *Tursiops truncatus* que pudieran ser consideradas para hacer una discriminación individual.

I.5.2. Objetivos particulares

1. Construir un arreglo de hidrófonos que permita grabar los sonidos emitidos por varios delfines en cautiverio nadando libremente y diferenciar los silbidos producidos por cada individuo.
2. Obtener una base de datos de silbidos de cada delfín previamente identificado.
3. Describir el repertorio de los silbidos de cada individuo.
4. Analizar la variabilidad acústica intra e interindividual de los silbidos.
5. Determinar si el repertorio y el uso de los silbidos se encuentran relacionados con el contexto en que fueron emitidos los silbidos.

I.6. Sitios y organismos de estudio

El presente proyecto se desarrolló en parques acuáticos (delfinarios) en la Ciudad de México debido a que en los estanques se tiene una mejor visibilidad y el número de individuos a grabar fue pequeño y, por ende, se tuvo la posibilidad de mantener condiciones relativamente estables para poder identificar al delfín que estaba emitiendo los sonidos mientras nadaba libremente.

En los dos delfinarios utilizados en este trabajo se tiene establecido por lo menos un día a la semana en el que el delfinario no abre al público y durante el cual los delfines no fueron obligados a realizar ninguna actividad, es decir, era su día de “descanso”, que generalmente fue el lunes. En los días “normales”, cuando el parque abrió al público, los animales realizaron labores diversas para el parque (p. ej., espectáculo, entrenamiento y revisión médica). Al no tener que seguir una rutina establecida, es probable que los animales presenten un comportamiento sin alteraciones en sus emisiones acústicas, semejante al que pudieran tener en un ambiente natural. Dada esta hipótesis, durante este día de “descanso” fue cuando se realizaron todas las grabaciones acústicas utilizadas en este trabajo. No se obtuvieron grabaciones acústicas en los días “normales”.

I.6.1. Delfinario 1: “Six Flags”

En la UMA Six Flags de la empresa Reino Aventura S.A. de C.V., al sur de la Ciudad de México, se realizó la recolección de datos en su delfinario del 07 de agosto de 2006 al 24 de octubre de 2007 (que en este trabajo se denominará delfinario 1 “Six Flags”) (Tabla 1.1). Entre el 07 de agosto y el 20 de septiembre de 2006 se realizó el estudio prospectivo durante ocho días de muestreo para determinar cuál sería la metodología a ser utilizada durante este trabajo.

En el delfinario 1 “Six Flags” se tuvieron bajo resguardo dos delfines de la especie *Tursiops truncatus*, un macho y una hembra (Fig. 1.15). Ambos delfines fueron capturados en 1996 en Guerrero Negro, B.C.S. El macho (que en este trabajo se denominará delfín 1) tenía entre 13 y 16 años de edad, medía 3.20 m y pesaba 320 kg. La hembra (que en este trabajo se denominará delfín 2) tenía entre 16 y 19 años de edad, medía 3.50 m y pesaba 350 kg.

Tabla 1.1. Esfuerzo de muestreo en el delfinario 1 “Six Flags”, mostrando el estanque en el que se encontraban los delfines, así como las condiciones fisicoquímicas del agua del estanque durante cada día de muestreo.

# de día de muestreo	fecha	día de la semana	hora de inicio del muestreo	hora de término del muestreo	esfuerzo de muestreo (h:min)	estanque	delfines	T (°C) promedio	S (ppm) promedio
1	3-oct-06	martes	09:46	13:10	03:24	oval	1 y 2	22	35
2	4-oct-06	miércoles	10:36	12:46	02:10	oval	1 y 2	22	35
3	10-oct-06	martes	10:40	12:55	02:15	oval	1 y 2	22	35
4	11-oct-06	miércoles	10:49	14:15	03:26	oval	1 y 2	22	32
5	17-oct-06	martes	10:02	12:41	02:39	oval	1 y 2	21	31
6	18-oct-06	miércoles	10:35	14:20	03:45	oval	1 y 2	22	32
7	23-oct-06	lunes	11:08	15:42	04:34	oval	1 y 2	21	26
8	30-oct-06	lunes	09:46	14:40	04:54	oval	1 y 2	21	26
9	27-nov-06	lunes	09:46	14:40	04:54	oval	1 y 2	21	26
10	4-dic-06	lunes	10:00	13:00	03:00	oval	1 y 2	17	26
11	11-dic-06	lunes	10:19	12:20	02:01	oval	1 y 2	16	31
12	18-dic-06	lunes	12:45	16:30	03:45	oval	1 y 2	18	28
13	3-ene-07	miércoles	09:00	10:20	01:20	oval	1 y 2	16	28
14	5-ene-07	viernes	08:24	10:00	01:36	oval	1 y 2	15	26
15	15-ene-07	lunes	10:15	16:47	06:32	oval	1 y 2	16	28
16	16-ene-07	martes	09:20	12:40	03:20	oval	1 y 2	18	28
17	17-ene-07	miércoles	10:15	16:42	06:27	oval	1 y 2	16	28
18	19-ene-07	viernes	09:40	13:00	03:20	oval & rectangular	1 y 2	18	31
19	23-ene-07	martes	10:56	12:30	01:34	rectangular	1 y 2	21	32
20	24-ene-07	miércoles	12:12	14:51	02:39	rectangular	1 y 2	21	32
21	31-ene-07	miércoles	10:00	12:18	02:18	rectangular	1 y 2	21	27
22	13-feb-07	martes	10:29	12:50	02:21	rectangular	1 y 2	21	30
23	26-feb-07	lunes	11:00	15:00	04:00	rectangular	1 y 2	24	30
24	5-mar-07	lunes	11:00	14:52	03:52	rectangular	1 y 2	24	28
25	13-mar-07	martes	11:03	13:00	01:57	rectangular	1 y 2	22	30
26	27-mar-07	martes	11:03	13:00	01:57	rectangular	1 y 2	22	30
27	27-abr-07	viernes	10:50	12:30	01:40	rectangular	1 y 2	23	30
28	4-may-07	viernes	10:45	13:36	02:51	rectangular	1 y 2	23	30
29	11-may-07	viernes	12:10	13:44	01:34	rectangular	1 y 2	23	28
30	17-may-07	miércoles	11:53	14:52	02:59	rectangular	1 y 2	25	32
31	30-ago-07	jueves	08:37	09:37	01:00	oval	1 y 2	21	29
32	5-sep-07	miércoles	14:10	14:40	00:30	oval	1 y 2	26	29
33	13-sep-07	jueves	07:28	08:08	24:40	oval	1 y 2	21	29
34	3-oct-07	miércoles	10:53	13:07	02:14	oval	1 y 2	22	29
35	10-oct-07	miércoles	14:27	15:57	01:30	oval	1 y 2	22	29
36	24-oct-07	miércoles	11:00	13:15	02:15	oval	1 y 2	21	29
TOTAL					126:16				
PROMEDIO	21-feb-07	miércoles	10:38	13:27	2:52			20.6	29.4
DESVIACIÓN ESTÁNDAR			1:23	1:55	1:24			2.7	2.4
MÁXIMO	24-oct-07	viernes	14:27	16:47	6:32			26	35
MÍNIMO	3-oct-06	lunes	7:28	8:08	0:30			15	26

NOTA: Para el cálculo del promedio, desviación estándar, máximo y mínimo del esfuerzo de muestreo no se incluyó el tiempo de muestreo del 13-sep-07.

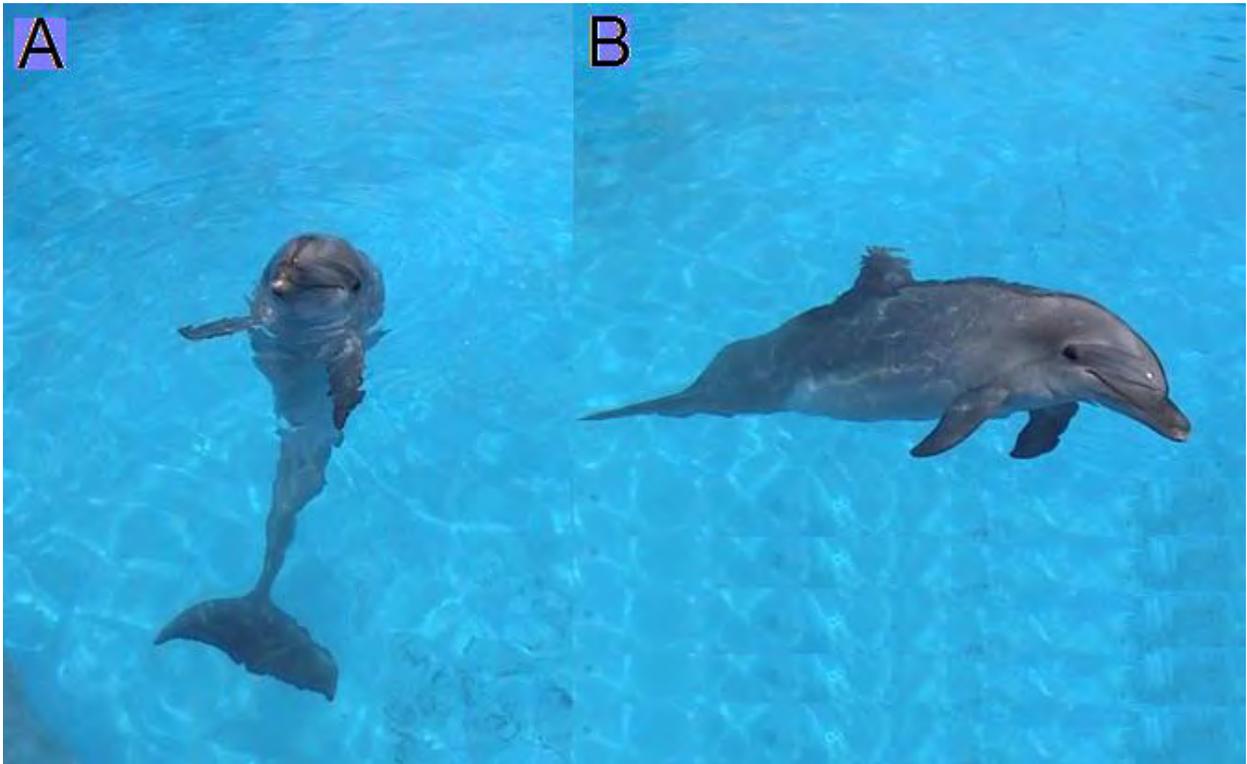


Figura 1.15. Fotografías de los dos delfines de la especie *Tursiops truncatus* bajo resguardo en el delfinario 1 “Six Flags”: (A) delfín 1 (un macho) y (B) delfín 2 (una hembra).

El delfinario 1 “Six Flags” cuenta con tres estanques interconectados y un estanque rectangular independiente (Fig. 1.16) que tienen paredes y fondo de concreto que están pintados de color azul claro, con muy pocas algas creciendo sobre ellos debido a que los estanques se limpiaban constantemente. Por ello, siempre fue posible observar el fondo de los estanques. Durante la realización de este trabajo, los delfines 1 y 2 siempre estuvieron juntos ocupando ya fuera dos de los estanques interconectados (entre agosto de 2006 y enero de 2007 y entre agosto y octubre de 2007: 64% de los días de muestreo) o el estanque rectangular independiente (de enero a julio de 2007: 36% de los días de muestreo) (Tabla 1). Cuando los delfines ocuparon el estanque rectangular independiente, todos los días eran día de “descanso”, ya que el delfinario estuvo cerrado al público. Cabe mencionar que cuando los delfines fueron trasladados nuevamente al estanque oval principal (i.e., entre agosto y octubre de 2007), el estanque rectangular pequeño albergaba a otros dos delfines y ya no estaba interconectado con el estanque oval principal; se había cerrado el paso para impedir que los delfines se tocaran o vieran.

Los tres estanques interconectados son un estanque oval principal, un estanque rectangular pequeño y un estanque circular pequeño. El estanque principal tiene forma oval con un diámetro máximo de 28 m y un diámetro mínimo de 20 m. El fondo del estanque oval es cóncavo, con una profundidad en la periferia de 4.2 m y en la parte central de 5 m. El estanque rectangular pequeño mide 9.3 m por 8.8 m, con una profundidad de 3.9 m y tiene una conexión con el estanque oval principal de 2 m por 2 m con una reja metálica corrediza que usualmente estuvo abierta. El estanque circular pequeño mide 9 m de diámetro y estuvo ocupado por los lobos marinos. La conexión entre el estanque oval principal y el circular pequeño siempre estuvo cerrada. El estanque rectangular independiente (o de cuarentena) mide 17 m por 9.7 m, con una profundidad de 4.1 m, al cual se le colocó una división de malla metálica para separar a los delfines de los lobos, por lo que el espacio ocupado por los delfines fue únicamente de 12 m por 9.7 m para cuatro de los once días de muestreo en el estanque de cuarentena.



Figura 1.16. Fotografía aérea de los estanques de la UMA Six Flags (delfinario 1 “Six Flags”). Izquierda, los tres estanques interconectados: estanque oval principal, estanque circular pequeño y estanque cuadrado pequeño. Derecha: estanque rectangular o de cuarentena. Tomada de <http://earth.google.com> con la mayor resolución que fue posible.

Las condiciones fisicoquímicas del agua en el estanque oval principal oscilaron entre octubre de 2006 y enero de 2007 y de agosto a octubre de 2007 (Tabla 1.1), registrando temperaturas entre los 15 y 26 °C y salinidades entre los 24 y 35 ‰. En el estanque de cuarentena se registraron temperaturas de 20 a 25°C y salinidades de 27 a 33 ‰ entre enero y mayo de 2007 (Tabla 1.1). Entonces, el agua de los estanques del delfinario 1 “Six Flags” tuvo una temperatura promedio de 20.5 ± 2.7 °C y una salinidad promedio de 29.4 ± 2.4 ‰.

I.6.2. Delfinario 2: “Atlantis”

En el delfinario Atlantis propiedad de la empresa Convimar S.A. de C.V., al oriente de la Ciudad de México, se realizó la recolección de datos del 09 de abril de 2007 y hasta el 04 de enero de 2008 (que en este trabajo se denominará delfinario 2 “Atlantis”) (Tabla 1.2).

Al inicio de este trabajo, en el delfinario 2 “Atlantis” se tuvieron bajo resguardo dos delfines de la especie *Tursiops truncatus*, dos hembras (Fig. 1.17) que provienen del Golfo de México (entre abril y octubre de 2007: 88% de los días de muestreo). Una de las hembras tenía alrededor de 7 años (que en este trabajo se denominará delfín 3) y la otra aproximadamente 12 años (que en este trabajo se denominará delfín 4). En octubre de 2007 se transportó al delfín 4 a otro delfinario, por lo que el delfín 3 estuvo solo durante parte del muestreo (de octubre a noviembre de 2007: 8% de los días de muestreo). En noviembre de 2007 se trajo como nuevo compañero del delfín 3 a un delfín macho (que en este trabajo se denominará delfín 5, Fig. 1.17) que tenía alrededor de 7 años de edad y que también provenía del Golfo de México. Los delfines 3 y 5 permanecieron juntos hasta el final del muestreo de este trabajo (entre noviembre de 2007 y enero de 2008: 4% de los días de muestreo). Se desconoce la talla exacta de los delfines 3, 4 y 5 al momento de realizar este estudio, pero se estimó que el delfín 3 medía como 1.9 m y pesaba como 190 kg, que el delfín 4 medía como 2.80 m y pesaba como 280 kg y que el delfín 5 medía como 1.9 m y pesaba como 170 kg, siendo los tres delfines del delfinario 2 “Atlantis” de una talla considerablemente menor a la de los delfines 1 y 2 del delfinario 1 “Six Flags”.

El delfinario 2 “Atlantis” cuenta con dos estanques interconectados, un estanque principal casi oval y un estanque circular pequeño, cuya conexión usualmente estaba abierta y tenía una dimensión de 1.5 m de ancho por 2 m de profundidad (Fig. 1.18). El estanque principal tiene forma casi oval porque del lado de las gradas la pared del óvalo

es recta con 11 m de longitud. Este semióvalo tiene un diámetro máximo de 17 m y un diámetro mínimo de 10 m, siendo el fondo del estanque cóncavo con una profundidad en la periferia de 4 m y en la parte central de 7m. El estanque circular pequeño mide 6 m de diámetro, con una profundidad de 4 m.

Las condiciones fisicoquímicas del agua en el estanque oval oscilaron entre abril de 2007 y enero de 2008 (Tabla 1.2), registrando temperaturas entre los 16 y 24°C y salinidades entre los 20 y 28 ‰. Entonces, el agua de los estanques del delfinario 2 “Atlantis” tuvo una temperatura promedio de 21.9 ± 1.7 °C y una salinidad promedio de 24.9 ± 2.3 ‰.

Tabla 1.2. Esfuerzo de muestreo en el delfinario 2 “Atlantis”, mostrando el estanque en el que se encontraban los delfines, así como las condiciones fisicoquímicas del agua del estanque durante cada día de muestreo.

# de día de muestreo	fecha	día de la semana	hora de inicio del muestreo	hora de término del muestreo	esfuerzo de muestreo (h:min)	estanque	delfines	T (°C) promedio	S (ppm) promedio
1	9/abr/07	lunes	14:28	17:20	02:52	oval	3 y 4	22	20
2	16/abr/07	lunes	11:07	14:30	03:23	oval	3 y 4	22	23
3	23/abr/07	lunes	10:50	14:20	03:30	oval	3 y 4	22	23
4	30/abr/07	lunes	11:16	12:51	01:35	oval	3 y 4	22	24
5	7/may/07	lunes	11:05	12:03	00:58	oval	3 y 4	23	24
6	14/may/07	lunes	11:31	13:28	01:57	oval	3 y 4	23	25
7	21/may/07	lunes	10:41	12:20	01:39	oval	3 y 4	23	24
8	25/may/07	viernes	11:04	12:36	01:32	oval	3 y 4	24	22
9	2/jul/07	lunes	13:20	15:24	02:04	oval	3 y 4	24	23
10	9/jul/07	lunes	10:11	13:45	03:34	oval	3 y 4	23	23
11	16/jul/07	lunes	11:57	13:26	01:29	oval	3 y 4	23	24
12	30/jul/07	lunes	11:35	14:13	02:38	oval	3 y 4	23	28
13	6/ago/07	lunes	14:13	16:05	01:52	oval	3 y 4	23	28
14	13/ago/07	lunes	12:09	13:20	01:11	oval	3 y 4	24	27
15	20/ago/07	lunes	12:15	13:15	01:00	oval	3 y 4	23	27
16	27/ago/07	lunes	13:00	14:23	01:23	oval	3 y 4	23	28
17	3/sep/07	lunes	12:00	15:50	03:50	oval	3 y 4	21	28
18	17/sep/07	lunes	10:37	16:40	06:03	oval	3 y 4	21	25
19	24/sep/07	lunes	12:11	14:20	02:09	oval	3 y 4	22	24
20	1/oct/07	lunes	10:00	10:45	24:45	oval	3 y 4	21	28
21	15/oct/07	lunes	12:55	14:50	01:55	oval	3 y 4	22	24
22	29/oct/07	lunes	12:56	13:56	01:00	oval	3	19	28
23	12/nov/07	lunes	12:38	16:47	04:09	oval	3	20	24
24	4/ene/08	viernes	10:51	15:43	04:52	oval	3 y 5	16	27
TOTAL					81:20				
PROMEDIO	27/jul/07	lunes	11:52	14:15	2:27			21.9	24.9
DESVIACIÓN ESTÁNDAR			1:11	1:37	1:21			1.7	2.4
MAXIMO	4/ene/08	viernes	14:28	17:20	6:03			24	28
MINIMO	9/abr/07	lunes	10:00	10:45	0:58			16	20

NOTA: Para el cálculo del promedio, desviación estándar, máximo y mínimo del esfuerzo de muestreo no se incluyó el tiempo de muestreo del 01/oct/07.

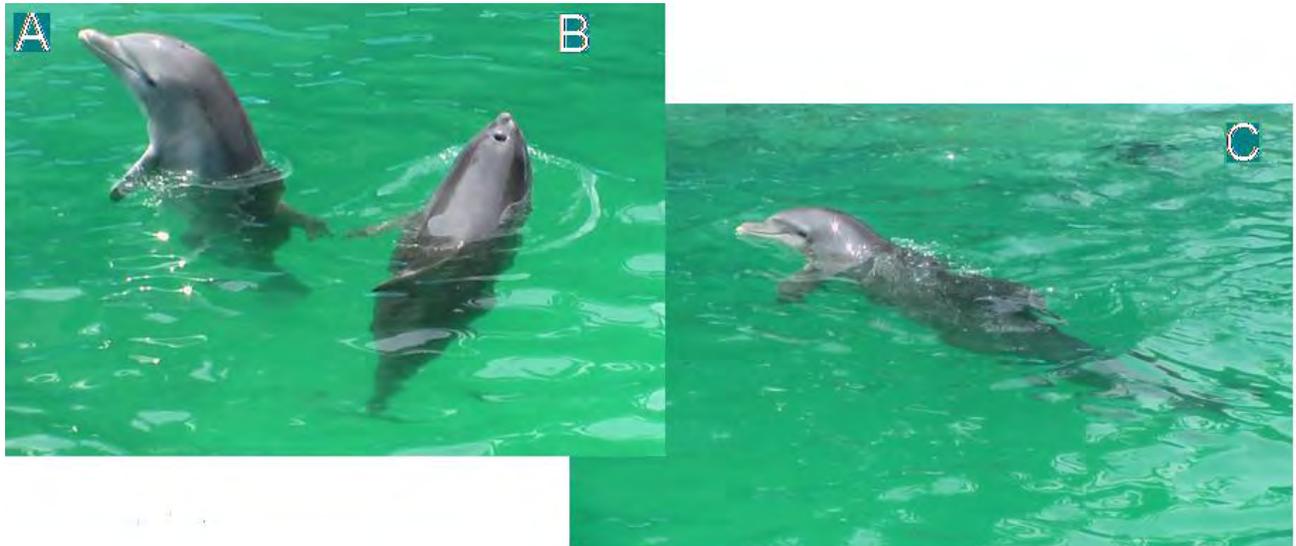


Figura 1.17. Fotografías de los tres delfines de la especie *Tursiops truncatus* bajo resguardo en el delfinario 2 “Atlantis”: (A) delfín 3 (una hembra), (B) delfín 4 (una hembra) y (C) delfín 5 (un macho).

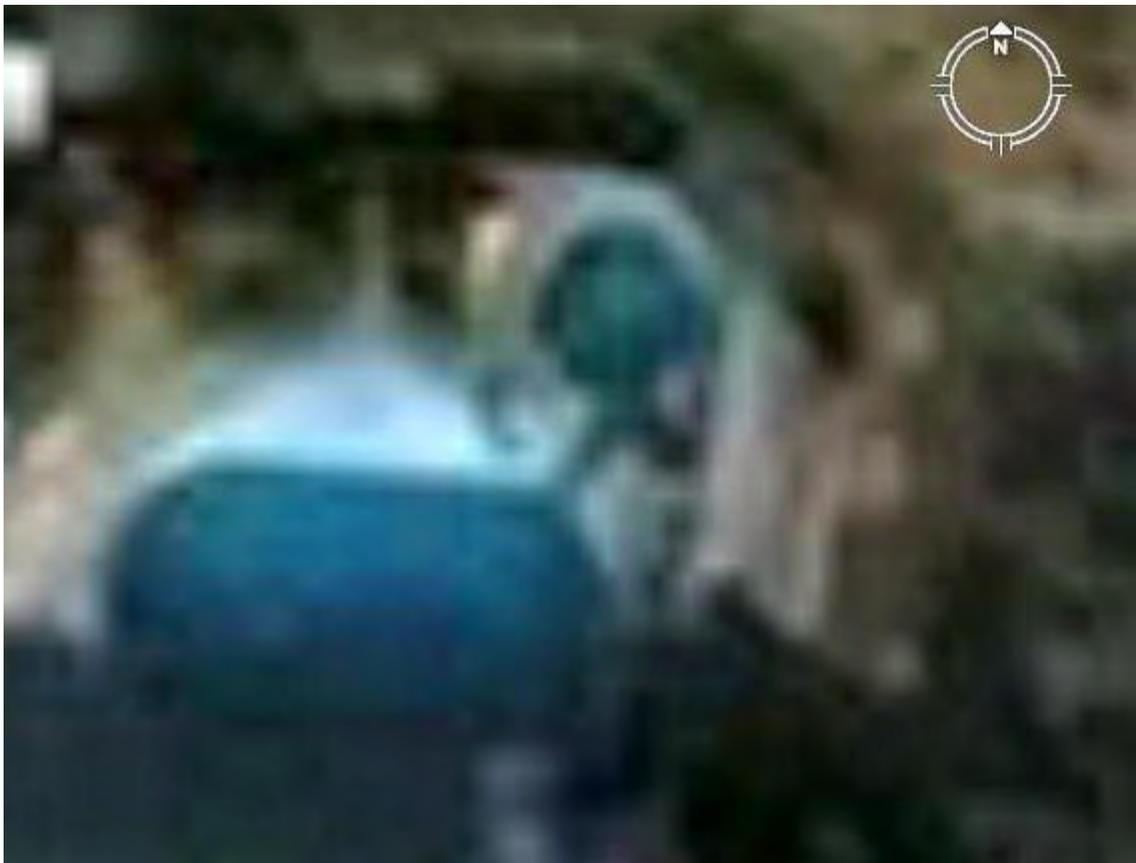


Figura 1.18. Fotografía aérea de los estanques interconectados del delfinario 2 “Atlantis”. Izquierda, el estanque oval principal. Derecha-arriba: estanque circular pequeño. Tomada de <http://earth.google.com> con la mayor resolución que fue posible.

Capítulo II. LOCALIZACIÓN DE LA FUENTE SONORA Y ADJUDICACIÓN DE LOS SILBIDOS

El primer objetivo particular de este trabajo era desarrollar una metodología que permitiera grabar los sonidos emitidos por varios delfines en cautiverio nadando libremente para poder diferenciar los silbidos producidos por cada individuo y obtener una base de datos de los silbidos emitidos por cada delfín estudiado en cada delfinario.

En este capítulo se presenta la metodología desarrollada para obtener una base de datos de silbidos por delfín y por delfinario. Esta base de datos de silbidos fue la utilizada en los capítulos III y IV.

II.1. Introducción

La localización de la fuente emisora del sonido consiste en definir de qué lugar proviene el sonido que se está registrando, lo cual implica calcular una distancia desde un punto de referencia y un(os) ángulo(s) o dirección(es). Para lograr localizar la fuente sonora se recurre a diferentes métodos de grabación acústica y de análisis de las señales acústicas.

Una forma sencilla de describir la localización de la fuente sonora es analizando el proceso que efectúa el cerebro de las aves y mamíferos con base en los sonidos recibidos por los oídos, que representan dos receptores, por lo que se denomina audición binaural o biauricular (van Bergeijk *et al.*, 1962). La localización de los sonidos en el espacio se consigue gracias al procesamiento de la información recibida en cada oído por separado y de la posterior comparación de ambas informaciones, considerando tanto la diferencia en el tiempo como en la intensidad con la que se recibe el sonido por cada oído.

Considerando una velocidad de propagación del sonido en el aire de aproximadamente 340 m/s, se puede calcular el tiempo de retraso máximo que tardaría el sonido en llegar a un oído y luego al otro, ya que la velocidad es la distancia recorrida en un tiempo dado. Así, el tiempo de retraso es en realidad una distancia recorrida adicional.

En el caso de los oídos de los humanos, esta distancia adicional correspondería a la separación entre las orejas, por ejemplo, 20 cm. Si:

$v = d/t$, entonces

$t = d/v = 0.20\text{m} / 340\text{m/s} = 0.000588\text{s} = 588 \mu\text{s}$ sería el tiempo de retraso, considerando que $(d_2 - d_1) = 0.20\text{m}$ si d_1 es la distancia entre la fuente sonora y la oreja 1 y d_2 es la distancia entre la fuente sonora y la oreja 2. Esto quiere decir que si una persona recibe un sonido que proviene exactamente de su lado derecho, la posición de la fuente sonora estaría a 0° y la oreja izquierda recibiría el sonido $0.588 \mu\text{s}$ después que la oreja derecha (Fig. 2.1A). En cambio, un sonido emitido a 45° de la persona tendría un tiempo de retraso de $416 \mu\text{s}$, ya que el sonido ahora llega antes a la oreja izquierda que cuando la fuente estaba a 0° porque la distancia recorrida adicional es de 14 cm en vez de 20 cm . Y si un sonido se emite justo al frente de una persona, a 90° de ambas orejas, tendrá un tiempo de retraso de cero segundos, es decir, llegará al mismo tiempo a ambas orejas porque la distancia recorrida adicional es de cero centímetros (Fig. 2.1C). Entonces, un cambio en la posición de la fuente sonora en el plano horizontal (x,y) resulta en diferentes tiempos de retraso entre las orejas.

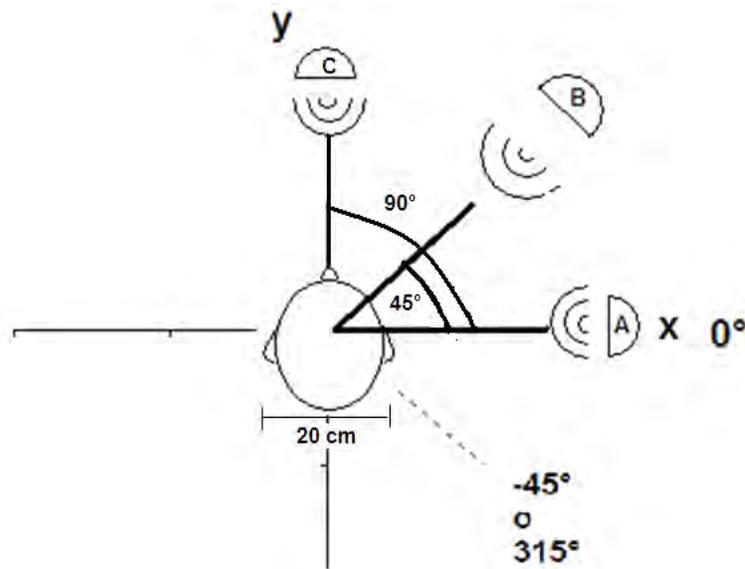


Figura 2.1. Ejemplificación de la recepción de un sonido por las orejas derecha e izquierda para fuentes sonoras localizadas en los ángulos de 0° (A), 45° (B) y 90° (C).

En el ejemplo dado, el tiempo de retraso es el mismo cuando el sonido proviene de 45° o de 315° (equivalente a -45° hacia atrás de la cabeza), lo que se conoce como la

ambigüedad adelante-atrás. Sin embargo, la pina auditiva atenúa los sonidos provenientes de ángulos mayores a 180° , por lo que sabemos que el sonido viene de atrás e instintivamente giramos la cabeza para captarlos mejor. Así, en el proceso de discriminar si el sonido viene de adelante o de atrás interviene la anatomía de la pina auditiva. Para realizar la localización vertical (plano z,y), es decir, si el sonido viene de arriba o de abajo, no se puede usar el tiempo de retraso, ya que los oídos no están posicionados a distinto nivel. Además, la anatomía de la pina auditiva no permite la discriminación en el plano vertical, lo cual implica que los humanos no poseemos la misma habilidad para localizar en los planos vertical como horizontal. Otras especies, como algunos búhos, tienen adaptaciones para resolver en ambos planos con una precisión de hasta 1° (Payne, 1971).

En el agua, la velocidad de propagación del sonido es de aproximadamente 1500 m/s, por lo que si se tiene el mismo tiempo de retraso entre receptores del ejemplo anterior de 588 μs , la distancia entre los dos receptores sería de:

$$d = v t = 1500 \text{ m/s} (0.000588 \text{ s}) = 0.882\text{m} = 88.2 \text{ cm.}$$

Así, si se aplica el mismo razonamiento usando dos receptores de sonido en el agua (llamados hidrófonos) separados una distancia conocida y se mide el tiempo de retraso en la señal recibida por ambos receptores se puede conocer la ubicación de la fuente hacia la derecha o izquierda de los receptores, más no si proviene de adelante o de atrás de ellos. Entonces, al describir la localización en el plano horizontal con dos receptores, se tiene que para el mismo tiempo de retraso existen dos posibilidades, una adelante y otra atrás que, como ya se mencionó, se conoce como la ambigüedad adelante-atrás (o derecha-izquierda si se toma como referencia el eje que une a ambos receptores). El tiempo de retraso también es debido a la distancia adicional recorrida equivalente a la diferencia entre la distancia de la fuente sonora al receptor 1 (d_1) y la distancia de la fuente sonora al receptor 2 (d_2), es decir,

$$\tau_{21} = (d_2 - d_1) / c$$

donde c es ahora la velocidad de propagación del sonido en el agua. Matemáticamente, el determinar la(s) posible(s) posición(es) de una fuente sonora se realiza con distintos métodos de localización de la fuente sonora.

II.1.1. Método de la formación del patrón del haz

La formación del patrón del haz (*beamforming* en inglés) es la técnica más utilizada para localizar una fuente sonora en el agua (Miller & Tyack, 1998; Thode *et al.*, 2000; Thomas *et al.*, 2002; Oswald *et al.*, 2007). Para localizar una fuente sonora, esta técnica de procesamiento de señales utiliza un conjunto de n receptores unidos en una línea (o arreglo lineal de transductores) a los que se les alinea el eje del patrón del haz (que corresponde a la direccionalidad del arreglo) con la dirección a la que se encuentra la fuente sonora para reducir el ruido proveniente de otras direcciones (DeFatta *et al.*, 1988; Burdic, 1991; Johnson & Dudgeon, 19993), por lo que también se puede considerar como un filtro. De esta manera, cuando se obtiene una mayor relación señal-ruido se ha encontrado la dirección (o el ángulo) a la que se localiza la fuente sonora. La localización de la fuente sonora por medio de la formación del patrón del haz es una forma de combinar los sonidos recibidos por dos o más receptores, permitiendo escuchar preferentemente los sonidos provenientes de cierta(s) dirección(es). Esta técnica puede ser aplicada a arreglos lineales que pueden estar emitiendo o recibiendo una señal sonora.

La respuesta de recepción de un arreglo se expresa como el patrón de su haz, una gráfica tridimensional que representa la cantidad de energía o amplitud del sonido que el arreglo recibe para cada ángulo de arribo. Este patrón varía con la frecuencia del sonido, siendo el lóbulo principal del patrón más amplio o ancho a frecuencias bajas y más angosto o estrecho a frecuencias altas (Fig. 2.2). Así, el objetivo de la modificación del lóbulo principal del patrón del haz es obtener el ángulo de máxima respuesta (MRA, por sus siglas en inglés), de tal forma que cuando se registra un sonido, se sabe de qué dirección proviene.

El arreglo de hidrófonos recibe el sonido de distinta manera por cada hidrófono, aunque se considera que el frente de onda sonoro es plano (i.e., la fuente sonora está en el campo lejano) (Fig. 2.3). Por ello, para un arreglo hecho con transductores discretos e independientes se puede aplicar de forma electrónica un cambio de fase o de tiempo de arribo a la señal recibida por cada transductor, de tal manera que se dirige el lóbulo principal del haz del arreglo en la dirección elegida. Este proceso permite hacer un barrido para explorar un área con objeto de monitorear los sonidos presentes sin hacer movimientos mecánicos del arreglo (Fig.2.4).

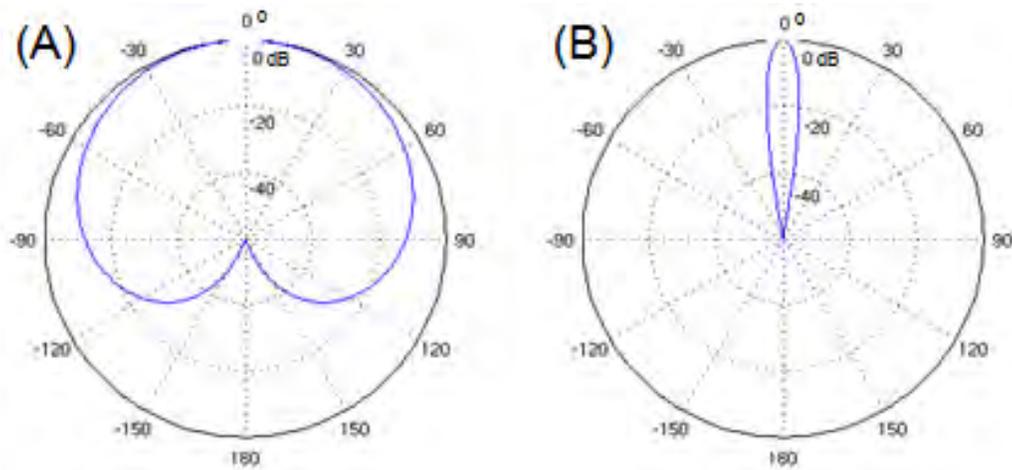


Figura 2.2. Representación en dos dimensiones del lóbulo principal del patrón del haz de un arreglo lineal de receptores. Ésta es una gráfica polar donde los valores sobre el(los) círculo(s) representan el ángulo o la dirección en la que se encuentra la fuente sonora y la distancia del centro hacia la periferia de los círculos representa la cantidad de energía que se recibe, siendo el valor máximo de energía el del círculo con mayor radio (i.e., 0 dB). Si el receptor fuera omnidireccional, es decir, si recibe los sonidos con la misma amplitud no importando la dirección de la que provienen, su patrón del haz sería este círculo con mayor radio a 0 dB. Como el receptor es direccional, el patrón del haz no es esférico: Forma del lóbulo principal para un sonido con una frecuencia de (A) 2 kHz y (B) 40 kHz. El lóbulo principal es más direccional al aumentar la frecuencia del sonido recibido (o emitido).

Frente de onda plana

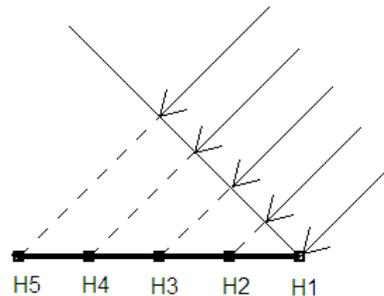


Figura 2.3. Arreglo lineal de cinco hidrófonos que recibe un frente sonoro. Se supone que la fuente sonora está en el campo lejano, por lo que las líneas del frente sonoro son líneas paralelas. El hidrófono H1 es el que recibe primero el frente sonoro y tiene un tiempo de retraso de 0 s, mientras que el hidrófono H5 es el último que recibe el frente sonoro y tiene un tiempo de retraso de 4τ . Las líneas punteadas representan la distancia adicional que recorre el frente sonoro y determinan los cambios que se deben realizar mediante la rotación electrónica del arreglo para conformar un arreglo imaginario para el cual el frente sonoro llegue al mismo tiempo a todos los hidrófonos del arreglo, es decir, que el tiempo de retraso para los cinco hidrófonos sea de 0 s.

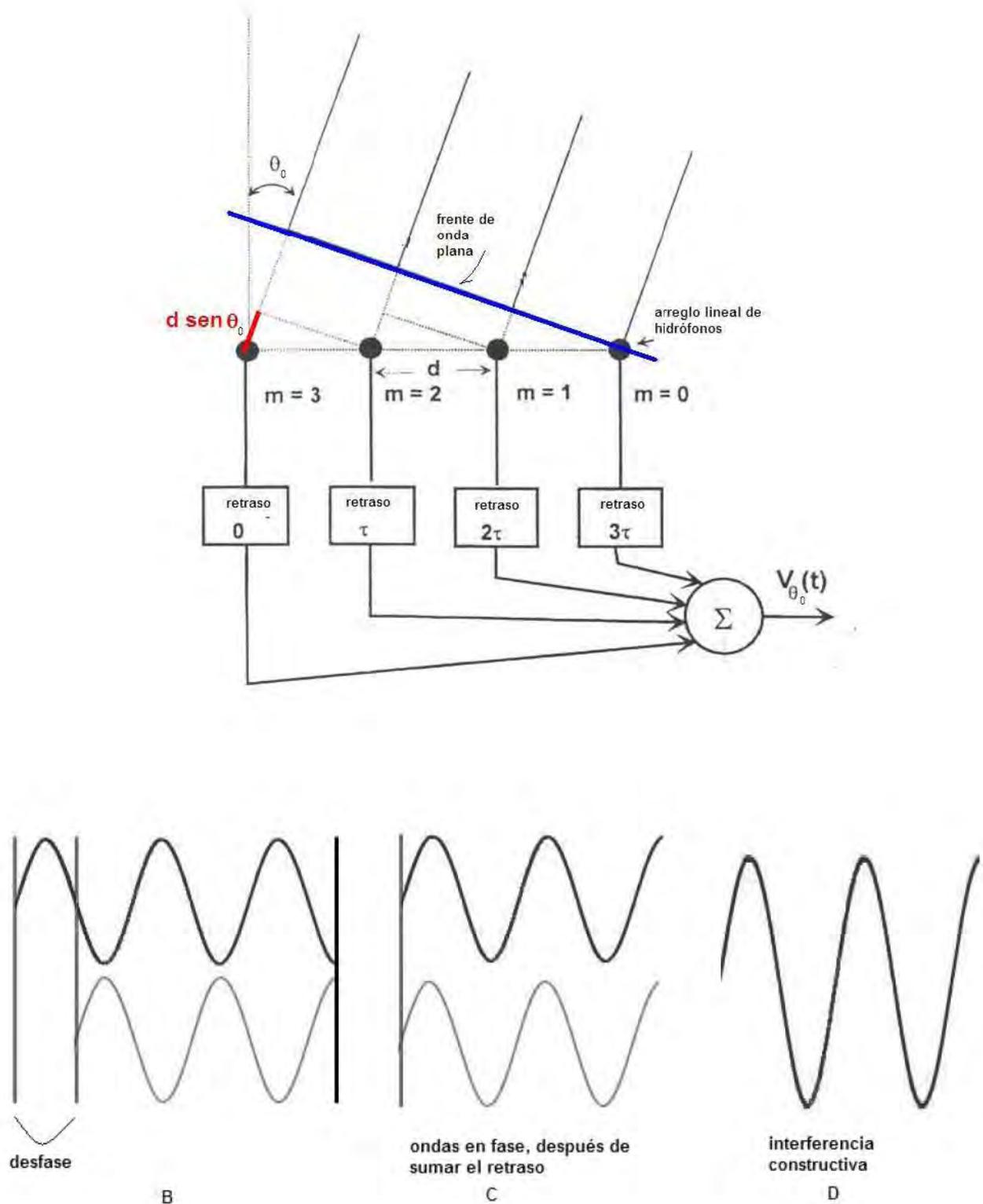


Figura 2.4. Modificación del patrón del haz mediante cambios en el tiempo de retraso de la señal recibida por cada uno de los receptores (A). El frente sonoro llega a diferentes tiempos a cada hidrófono, por lo que las ondas sonoras recibidas llegan desfasadas (B). Al introducir un retraso τ de acuerdo a la posición de cada hidrófono (A), las ondas sonoras estarán en fase (C). Una vez en fase, las ondas presentarán interferencia constructiva al sumarse, es decir, la amplitud de la señal se incrementará para todo tiempo (D).

Si se usa la adición de tiempos de retraso para la formación del patrón del haz, los sonidos recibidos por cada hidrófono son retrasados unos con respecto a los otros y las señales retrasadas son sumadas constructivamente (Fig 2.4). Este tiempo de retraso determina el ángulo en el que preferentemente se captan los sonidos, es decir, el ángulo al que las ondas sonoras presentarán interferencia constructiva a todo tiempo. A cualquier otro ángulo, la interferencia entre las ondas será constructiva y destructiva. Por ello, la amplitud de la señal producto de la suma de todas las ondas sonoras recibidas por los hidrófonos será máxima cuando el arreglo esté alineado con la fuente.

La ganancia obtenida al sumar las ondas sonoras recibidas por todos los hidrófonos y a las cuales se les ha añadido un tiempo de retraso depende de varios factores, pero principalmente del número de hidrófonos empleados. Para obtener una ganancia que mejore la señal se requiere de al menos cinco o seis hidrófonos, aunque lo más recomendable es que se usen ocho (Burdic, 1991). Varias aplicaciones comerciales están diseñadas para operar con 20 a 50 hidrófonos (Mellinger, 2002).

Otro factor a considerar es la coherencia, porque si los hidrófonos están demasiado separados, el desempeño de la formación del patrón del haz no funcionará correctamente. Como regla general, se considera que los micrófonos en aire se deben ubicar a distancias de algunos metros, hasta decenas de metros, mientras que los hidrófonos en agua se deben disponer a decenas de metros y hasta centenas de metros (200 o 300 m). Ambientes más variables requieren de una disposición de hidrófonos con menor distancia entre ellos.

Cabe mencionar que con el método de la formación del patrón del haz únicamente se obtiene la dirección o MRA a la que está la fuente sonora, más no la distancia a la que se encuentra. Para poder determinar la distancia a la que se encuentra la fuente es necesario utilizar al menos dos arreglos lineales de hidrófonos a los que se les modifica el patrón del haz de manera independiente; la intersección del MRA obtenido para cada arreglo será la posición en dos dimensiones de la fuente (Miller, 2006). Si el patrón del haz de los arreglos es simétrico con respecto al eje sobre el que se encuentran los hidrófonos, entonces habrá una ambigüedad izquierda-derecha en la posición de la fuente sonora. Si el patrón del haz no es simétrico (generalmente no es simétrico), no existirá ambigüedad en la posición a la que se encuentra la fuente sonora.

El cálculo del MRA en el que se ubica la fuente sonora se hace de la siguiente manera. Para un arreglo lineal de longitud L conformado por $n= 2m+1$ transductores y formando un haz en la dirección θ_0 , se tiene que:

$$\text{sen } \theta_0 = \frac{c \tau}{d},$$

donde c es la velocidad de propagación del sonido en el agua, τ es el tiempo de retraso en el arribo del sonido entre dos hidrófonos y d es la distancia entre receptores. La distancia entre receptores se define con base en la longitud de onda del sonido recibido, en la distancia a la que se encuentra la fuente y a las pérdidas por transmisión del sonido a los diferentes receptores considerando únicamente radiación esférica. Cabe mencionar que para realizar este cálculo se considera que la velocidad de propagación del sonido es constante y que los hidrófonos utilizados tienen la misma respuesta y son equidistantes. El tiempo de retraso del transductor n con respecto al centro del arreglo es:

$$\Delta t_n = n L/c = nd/c \text{ sen } \theta_0 \text{ y el cambio de fase correspondiente es}$$

$\Delta \phi = 2\pi d/\lambda (\text{sen } \theta - \text{sen } \theta_0)$, donde θ_0 es el ángulo en el que “apunta el haz” y es al que se rotó el arreglo (el MRA), θ es el ángulo al que recibe el sonido cualquier hidrófono y λ es la longitud de onda del sonido recibido (Fig. 2.4). Por ello, el arreglo de hidrófonos a utilizar tendrá un ancho de banda restringido (generalmente su funcionamiento en la localización es óptimo para una sola frecuencia). Para encontrar el valor del MRA, que es el valor de θ_0 cuando la respuesta es máxima, se utilizan métodos matemáticos.

También es posible utilizar un algoritmo de formación del patrón del haz en el dominio de la frecuencia (Miller & Tyack, 1998; Thode *et al.*, 2000; Mellinger, 2002). En el dominio de la frecuencia se realiza la multiplicación de la señal recibida por un vector de giro en vez de la suma de un tiempo de retraso como se hace en el dominio del tiempo.

Así, con el método de la formación del patrón del haz es posible estimar la localización de la fuente sonora conociendo el tiempo de retraso de la señal τ entre los hidrófonos del arreglo, la distancia entre los mismos d y la velocidad de propagación del sonido en el agua c .

II.1.2. Método de las hipérbolas

El método de las hipérbolas es el método de localización de la fuente del sonido más sencillo si se trabaja en dos dimensiones (Au & Hastings, 2008). Una hipérbola es la serie de puntos en un plano que mantienen una distancia con una relación constante entre dos puntos fijos (focos). Con este método se considera que dos hidrófonos son los focos de la hipérbola y la fuente del sonido se localiza sobre la hipérbola (Fig. 2.5).

La ecuación que describe a una hipérbola es:

$$\frac{x^2}{a^2} - \frac{y^2}{b^2} = 1$$

donde **a** es la distancia mínima entre las dos ramas de la hipérbola (que se obtiene sobre el eje de los focos) y **b** es la abertura de la hipérbola en los focos.

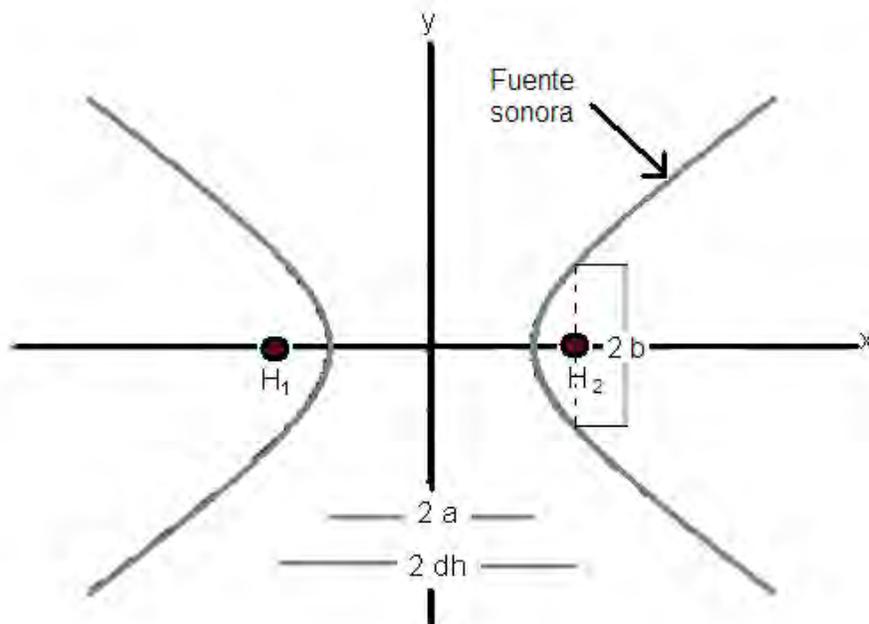


Figura 2.5. Diagrama que ejemplifica el método de las hipérbolas para localizar la fuente sonora, señalando la ubicación de dos hidrófonos (H1 y H2) como los focos de la hipérbola. Cuando se utilizan dos receptores, la ubicación de la fuente en el plano (x,y) es en cualquier punto sobre la hipérbola, pudiendo discriminar si es sobre la rama izquierda o derecha por el signo del tiempo de retraso.

Para obtener la ecuación de la hipérbola donde se localiza la fuente del sonido se considera que existe un tiempo de retraso en la recepción del mismo sonido por los dos hidrófonos, por lo que a y b se calculan como:

$$a = \frac{\tau_{21}c}{2} \qquad b = \sqrt{d_h^2 - a^2}$$

donde τ_{21} es el tiempo de retraso entre los hidrófonos 1 y 2, c es la velocidad de propagación del sonido en el agua y d_h es la distancia entre el origen y cualesquiera de los dos hidrófonos (1 o 2, ya que el origen de referencia se localiza exactamente en medio de los dos hidrófonos). Debido a que se conoce a qué hidrófono llega primero el sonido por el signo del tiempo de retraso, se puede determinar en qué rama de la hipérbola se ubica la fuente, si la rama derecha o la rama izquierda (Fig. 2.5). Cabe mencionar que para realizar este cálculo se considera que la velocidad de propagación del sonido es constante.

Al emplear más de dos hidrófonos en un arreglo (i.e., tres o más hidrófonos conectados a un mismo sistema de grabación) es posible calcular más de una hipérbola, por lo que la intersección de las hipérbolas calculadas es donde se localiza la fuente. La intersección de dos hipérbolas se da en varios puntos, dos de los cuales se descartan por el signo del tiempo de retraso. Entonces, el poder determinar la posición de la fuente depende de la configuración de las parejas de hidrófonos utilizada, es decir, el tipo de arreglo utilizado (p. ej., estrella, Y, entre otros). Para poder determinar la posición de una fuente en el plano (x,y) es necesario utilizar al menos tres hidrófonos en una configuración donde cada par de hidrófonos se encuentra en una distinta línea (Au & Hastings, 2008). Para resolver la intersección de las hipérbolas se utilizan métodos matemáticos, tales como las ecuaciones lineales (Au & Hastings, 2008).

En el ejemplo de la Fig. 2.6 se consideran tres hidrófonos en una configuración lineal. La intersección de las hipérbolas se da en cuatro puntos, dos de los cuales se descartan por el signo de los tiempos de retraso, como ya se mencionó, por lo que la fuente se localiza en cualesquiera de estos dos puntos. A esta ambigüedad se le conoce como ambigüedad izquierda-derecha en el uso de arreglos lineales con un número de hidrófonos mayor o igual a tres (Fig. 2.6B).

Así, con el método de las hipérbolas es posible estimar la localización de la fuente sonora conociendo el tiempo de retraso de la señal τ entre los hidrófonos del arreglo, la distancia entre los mismos d_h y la velocidad de propagación del sonido en el agua c . Cabe mencionar que la distancia entre los hidrófonos no necesariamente debe ser la misma, pero el cálculo se facilita si los hidrófonos son equidistantes.

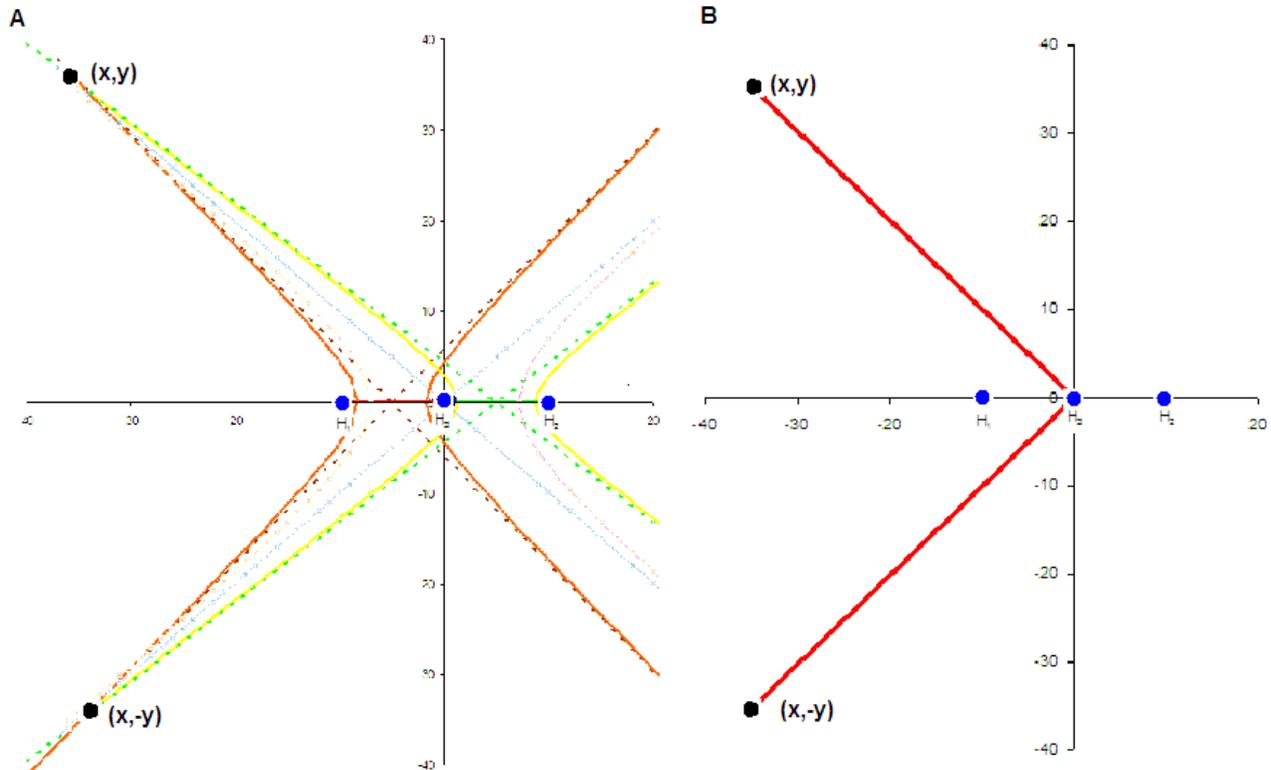


Figura 2.6. Diagrama que ejemplifica el método de las hipérbolas para localizar la fuente sonora con un arreglo lineal de tres hidrófonos, señalando la ubicación de los tres hidrófonos (H_1 , H_2 y H_3) como los focos de las hipérbolas. Cuando se utilizan tres receptores, la ubicación de la fuente en el plano (x,y) son los dos puntos en los que se intersectan las hipérbolas formadas por los hidrófonos H_1 y H_2 , H_1 y H_3 y/o H_2 y H_3 , pudiendo discriminar si es sobre la rama izquierda o derecha por el signo del tiempo de retraso (A). (B) Representación de la ambigüedad izquierda-derecha en el uso de arreglos lineales con un número de hidrófonos mayor o igual a tres.

II.1.3. Método de Cato con dos hidrófonos

Cato (1998) demostró que bajo condiciones específicas un arreglo de dos hidrófonos (H_1 y H_2) puede ser suficiente para localizar una fuente sonora con una ambigüedad

izquierda-derecha. Si los hidrófonos empleados tienen la misma sensibilidad y las pérdidas por transmisión del sonido son únicamente por radiación esférica, la intensidad del sonido recibida por ambos hidrófonos puede expresarse como:

$$I_1 = I_0 / r_1^2 \quad \text{e} \quad I_2 = I_0 / r_2^2$$

donde I_0 es la intensidad del sonido en la fuente, r_1 es la distancia entre la fuente y el hidrófono 1 y r_2 es la distancia entre la fuente y el hidrófono 2. Entonces, la intensidad del sonido en la fuente o nivel en la fuente es $SL = 10 \log(I_1 r_1^2) = 10 \log(I_2 r_2^2)$. Introduciendo la variable $k = (I_1 / I_2)^{0.5} = p_1 / p_2 = r_2 / r_1$, donde p_1 y p_2 son las presiones recibidas por los hidrófonos 1 y 2, respectivamente, la diferencia entre los niveles recibidos en los dos hidrófonos es $DSPL = 10 \log(I_1 / I_2) = 20 \log(r_1 / r_2) = 20 \log k$ o $k = 10^{(DSPL/20)}$ y el tiempo de retraso de la señal entre los hidrófonos 1 y 2 es:

$$\tau = \frac{r_1 - r_2}{c_0}$$

donde c_0 es la velocidad de propagación del sonido en el agua. Rearreglando términos, se tiene que la distancia del hidrófono 1 a la fuente (Fig. 2.7) es:

$$r_1 = c_0 \tau / (k - 1)$$

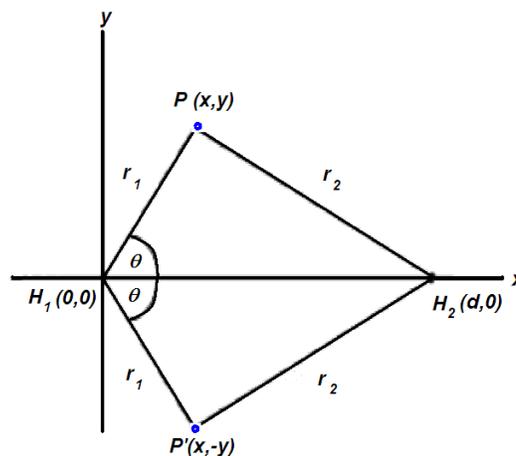


Figura 2.7. Diagrama que ejemplifica el método de Cato con dos hidrófonos para localizar la fuente sonora, señalando la ubicación de los dos hidrófonos (H_1 y H_2). La ubicación de la fuente es en los puntos $P(x,y)$ y $P(x,-y)$ (indicando la ambigüedad izquierda-derecha) y se puede describir dando la distancia r_1 y el ángulo θ . Modificado de Cato (1998).

Para obtener el ángulo al que se encuentra la fuente con respecto al hidrófono 1 es necesario conocer la distancia d entre los dos hidrófonos y aplicar el teorema de Pitágoras, tal que:

$$\cos \theta = [d^2 - r_1^2 (k^2 - 1)] / (2 r_1 d)$$

Entonces, la fuente sonora está localizada a θ y $-\theta$ del origen, con una ambigüedad izquierda-derecha (Fig. 2.7). Si el cálculo de la localización de la fuente se considera para el plano (x,y,z) , la fuente estará sobre el perímetro del círculo de radio r_1 (Fig 2.8).

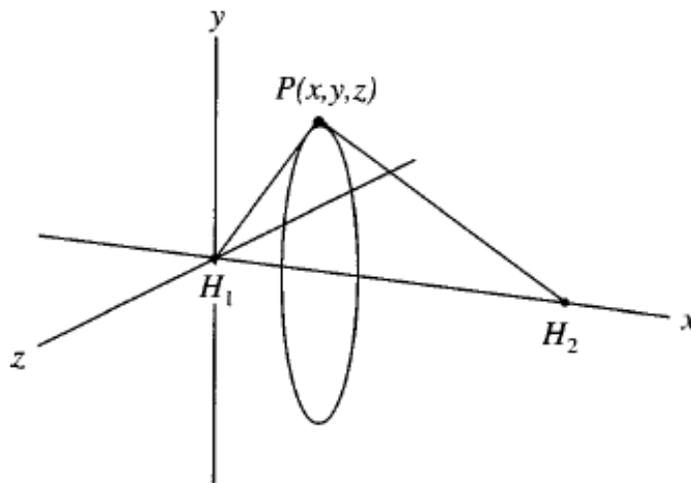


Figura 2.8. Representación de la ambigüedad en la localización de la fuente sonora P en tres dimensiones utilizando el método de Cato con dos hidrófonos. La fuente sonora se encuentra sobre la circunferencia del círculo normal al plano (x,y) donde se encuentran los hidrófonos H_1 y H_2 . Tomado de Cato (1998).

Así, con el método de Cato con dos hidrófonos es posible estimar la localización de la fuente sonora con una ambigüedad izquierda-derecha conociendo el tiempo de retraso de la señal entre los dos hidrófonos τ , la distancia entre los dos hidrófonos d_h , la diferencia en la intensidad de la señal recibida por los dos hidrófonos **DSPL** y la velocidad de propagación del sonido en el agua c_0 .

II.2. Metodología

Para poder adjudicar un silbido a un delfín particular era necesario conocer la posición de la que provenía el sonido para luego asociarlo con el delfín que se ubicaba en esa posición. Como los delfines estudiados cohabitaban los estanques por pares, al momento de registrar un silbido éste pudo ser emitido por cualquiera de los dos delfines. Por ello, primero se debía localizar la fuente del silbido y luego determinar si un delfín se encontraba en dicho lugar y qué delfín era. Así, se requería de un método acústico-visual combinado (p. ej., Frankel *et al.* 1995; Miller & Tyack 1998; Thomas *et al.* 2002) para obtener una base de datos de silbidos de acuerdo al delfín silbante.

II.2.1. Localización acústica de la fuente sonora

II.2.1.1. Estudio prospectivo

El contar con la presencia de únicamente dos delfines por estanque sugería que la localización de la fuente sonora no debía ser complicada y que probablemente se podía utilizar un arreglo de dos hidrófonos o receptores. Cabe recordar que con cualquiera de los métodos antes descritos, si se tienen dos hidrófonos ubicados a una distancia conocida y conectados a un sistema de grabación en donde ambos canales están sincronizados es posible obtener una curva sobre la cual se encuentra la fuente del sonido al calcular el tiempo de retraso del sonido entre los dos hidrófonos o canales y conociendo la velocidad de propagación del sonido en el agua de los estanques. Si el arreglo se ubica sobre las paredes del estanque se elimina la mitad de esta curva, ya que la fuente sonora no puede estar fuera del estanque.

Entonces, se realizaron grabaciones de los sonidos subacuáticos en el estanque oval principal del delfinario 1: “Six Flags” entre el 22 de agosto y el 18 de septiembre de 2006 por tres días utilizando un arreglo lineal de dos hidrófonos (modelo ST100, -195+-2dB re 1V/ μ Pa de 1Hz a 42kHz) ubicado sobre la pared del estanque que daba a las gradas (Fig. 1.16) y cambiando la distancia entre hidrófonos. Las distintas distancias entre hidrófonos se eligieron de acuerdo a las dimensiones de los diversos estanques en ambos delfinarios (p. ej., 10, 11, 12, 17 y 20 m).

Para localizar la fuente sonora con el arreglo lineal de dos hidrófonos se utilizó el método de las hipérbolas, como se muestra en las Fig. 2.9 y 2.10. De esta forma, la fuente sonora estaría localizada sobre cualquier punto sobre la rama derecha o izquierda de la hipérbola. Además de graficar las hipérbolas, también se graficaron sus rectas asintóticas para determinar si era posible establecer la dirección o ángulo al que se encontraba la fuente con estas rectas, lo cual implicaba una mayor facilidad en el cálculo. Como se puede apreciar en las Fig. 2.9 y 2.10, si el delfín emisor del silbido se encontraba muy cercano a los hidrófonos, las rectas asintóticas no darían adecuadamente la dirección a la que se encontraba la fuente, por lo que se decidió que únicamente se utilizaría a la hipérbola para definir la ubicación de la fuente sonora.

También se determinó la precisión en la localización de la fuente al calcular la eficiencia teórica si se consideraban distintos tiempos de retraso (Tabla 2.1). El tiempo de retraso tendría un valor mínimo de 0 s cuando el silbido se emitía a la misma distancia de los dos hidrófonos, es decir, en el punto medio del arreglo a cualquier distancia (a 0° , Fig. 2.11). El valor máximo del tiempo de retraso sería aquel registrado cuando la emisión ocurría justo junto a uno de los hidrófonos (a 90° , Fig. 2.11).

La resolución teórica en la localización se obtuvo considerando tiempos de retraso para ángulos entre 0° y 90° que permitieran encontrar el valor en ms que correspondiera a cada grado. Además, se consideró la resolución de los programas de cómputo Canary© versión 1.2.4 (Charif *et al.*, 1995) y Raven© versión 1.3 (Charif *et al.*, 2008) empleados para obtener el valor del tiempo de retraso, que tuvieron una precisión teórica de 0.044 ms y 0.026 ms, respectivamente y una precisión experimental de 0.088 ms y 0.052 ms (Fig. 2.12), respectivamente. La resolución en ms por grado es del doble para el arreglo de 20 m que para el de 10m, ya que la resolución es directamente proporcional a la distancia entre hidrófonos. La resolución teórica obtenida para los arreglos de 20 y 17 m fue mayor a 0.088 ms, la precisión experimental del programa de cómputo Canary©. Si se considera la precisión experimental del programa de cómputo Raven©, la resolución teórica obtenida para todos los arreglos fue mayor a la experimental, por lo que los resultados obtenidos con todos los arreglos se ajustaron adecuadamente a los teóricos. Cabe mencionar que al principio de este trabajo no era posible calcular correlaciones con el programa de cómputo Raven©, por lo que únicamente se podía utilizar el programa Canary©. Cuando se pudo utilizar el programa de cómputo Raven©, se calcularon los tiempos de retraso de aquellos

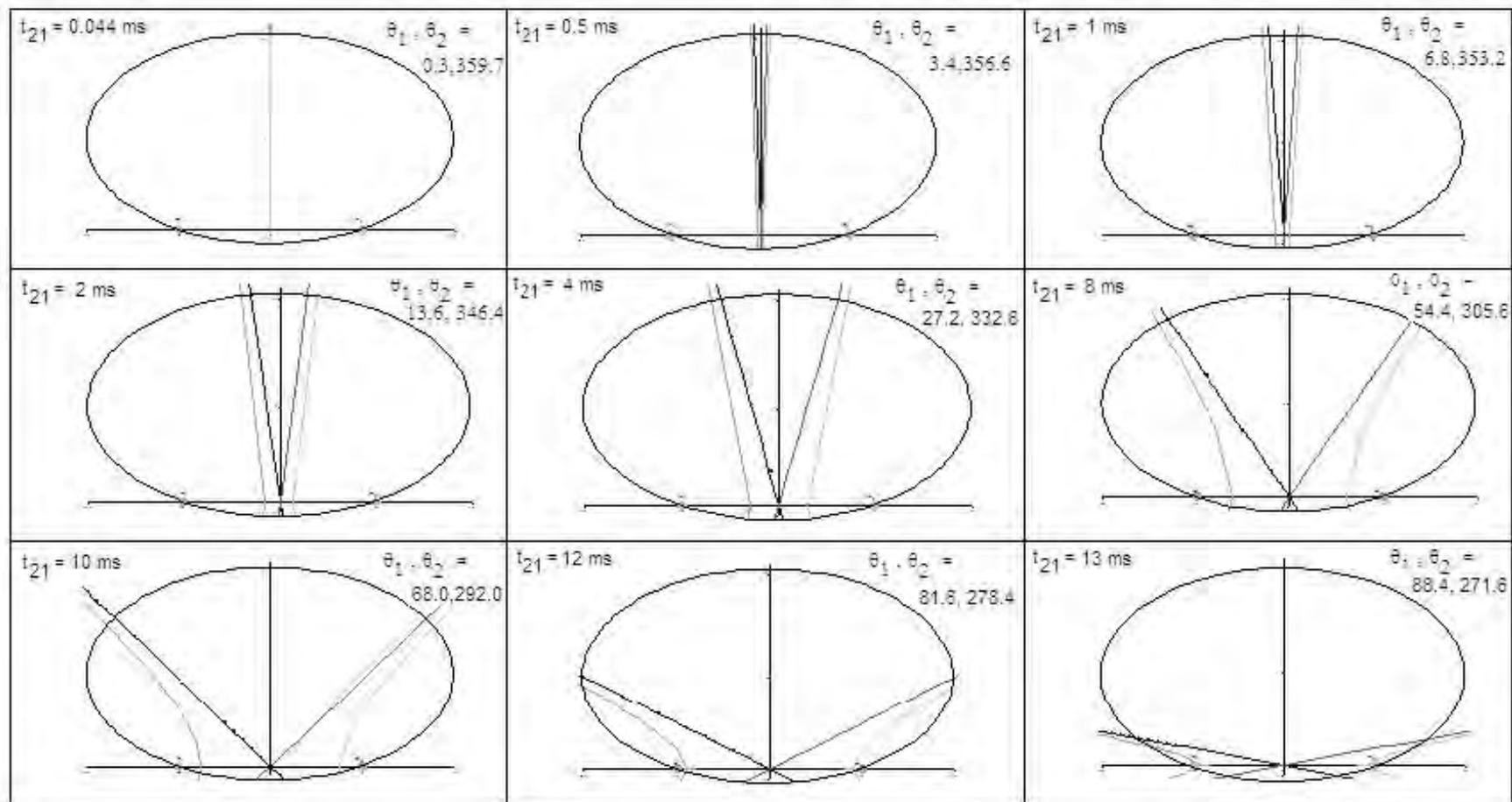


Figura 2.9. Hipérbolas y asíntotas calculadas para sonidos emitidos en un estanque donde la distancia entre los dos hidrófonos era de 20 m.

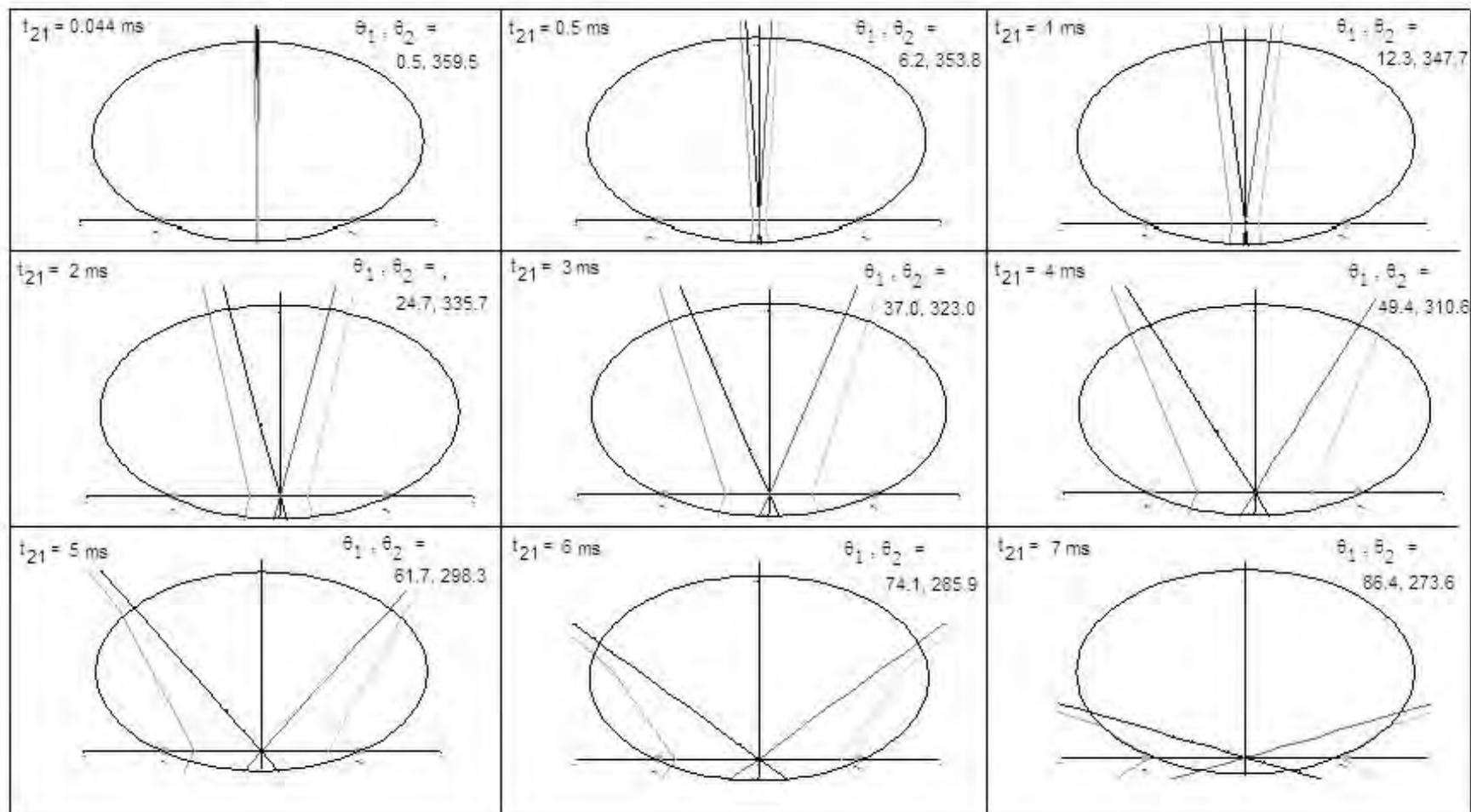


Figura 2.10. Hipérbolas y asíntotas calculadas para sonidos emitidos en un estanque donde la distancia entre los dos hidrófonos era de 11 m (se utilizó 11m en vez de 10 m porque ésta fue la distancia a la que colocaron los hidrófonos en el estanque del delfinario 2: “Atlantis”).

silbidos para los que la precisión del programa Canary© no era suficiente. Entonces, el ángulo al que se encontraba la fuente sonora se pudo medir con una precisión experimental de $\pm 0.6^\circ$ con el arreglo de 20 m y de $\pm 1.2^\circ$ con el arreglo de 10 m (i. e., el doble de la precisión teórica). Esta resolución representó una distancia entre hipérbolas menor al tamaño de los delfines, por lo que no constituyó un problema en determinar la posición de la fuente sonora.

Tabla 2.1. Eficiencia teórica de un arreglo de dos hidrófonos ubicados a diferentes distancias considerando una precisión teórica de 0.044ms del programa de cómputo usado para calcular el tiempo de retraso y una velocidad de propagación del sonido en el agua de 1516 m/s.

Distancia entre hidrófonos	Intervalo de los tiempos de retraso (ms)	Resolución (ms/grado)	Precisión (grados)
20 m	0 – 13.193	0.147	0.3
17 m	0 – 11.214	0.125	0.4
12 m	0 – 7.916	0.088	0.5
11 m	0 – 7.256	0.081	0.5
10 m	0 – 6.596	0.073	0.6

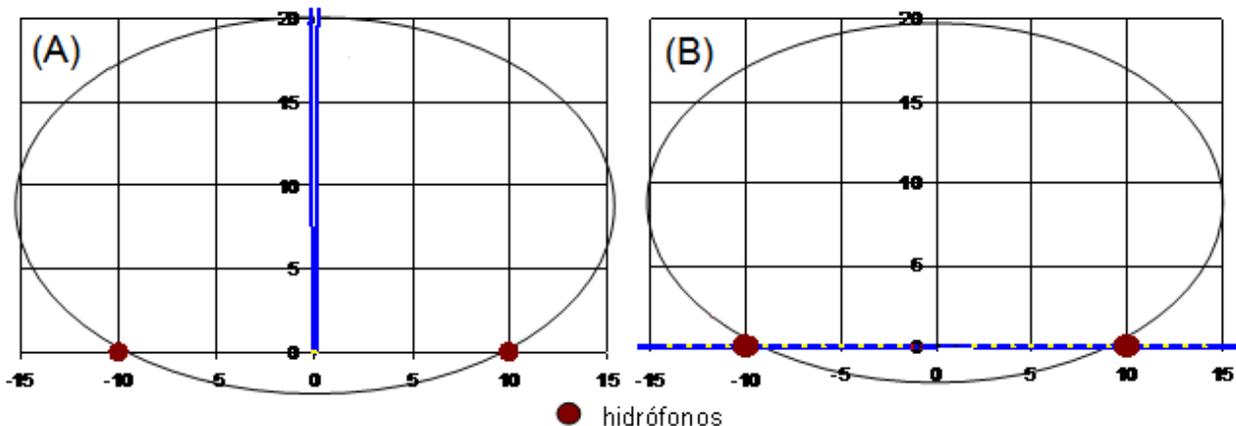


Figura 2.11. Localización de la fuente sonora utilizando un arreglo de dos hidrófonos separados una distancia de 20 m para (A) un tiempo de retraso mínimo de 0 s a 0° y para (B) un tiempo de retraso máximo de 13.193 ms a 90° o -13.193 ms a -90° . La fuente se encuentra en cualquier punto sobre las curvas azules.

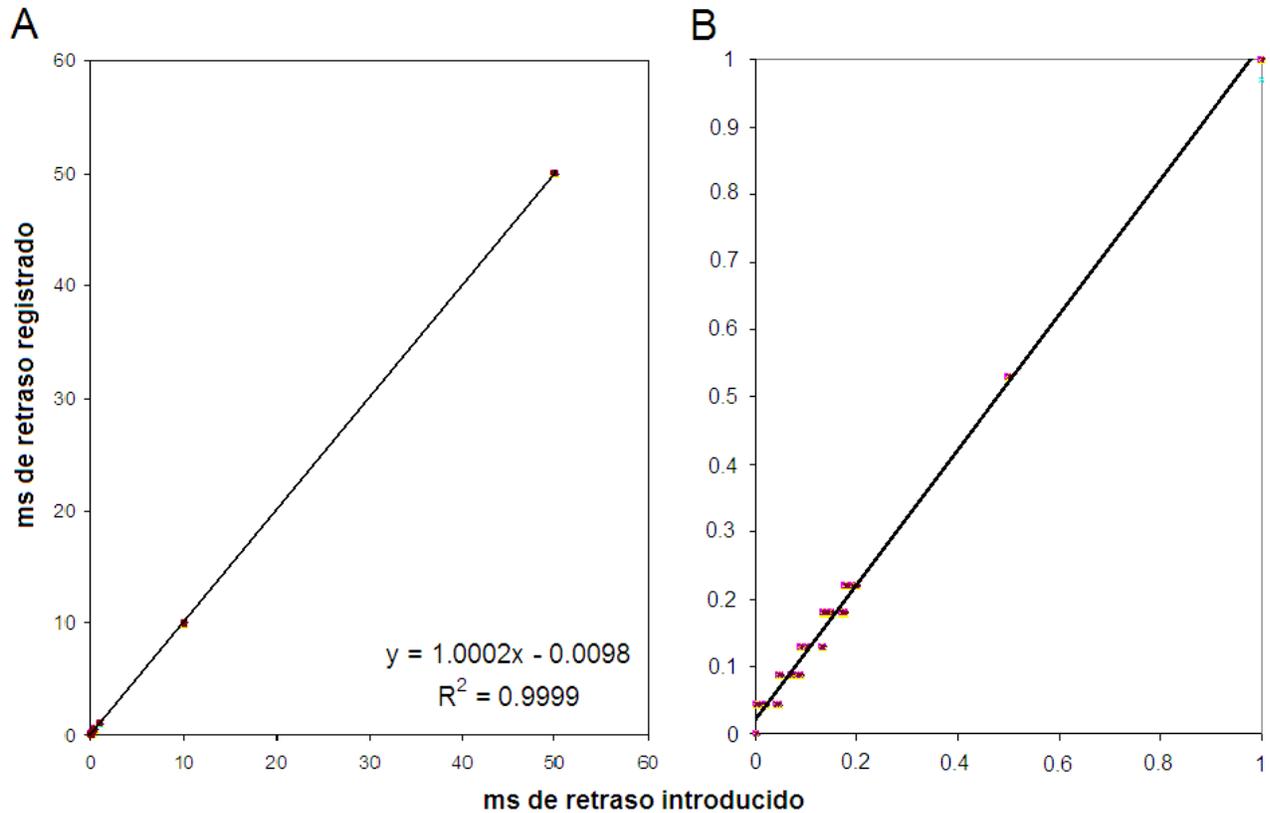


Figura 2.12. Resolución experimental de los valores del tiempo de retraso calculados mediante el programa de cómputo Canary© para el arreglo de dos hidrófonos separados 20 m (A). Se muestra una ampliación de la escala entre 0 y 1 ms (B).

Como sistema de grabación se utilizó una grabadora digital portátil estéreo marca M-Audio modelo Microtrack 24/96© utilizando distintas tasas de muestreo (i.e., 88.2 y 96 kHz) e intervalos dinámicos (i.e., 16 y 24 bits). Para este sistema se encontró que la tasa de muestreo e intervalo dinámico óptimos fueron 96kHz y 16 bits, respectivamente, ya que estos parámetros de grabación permitieron registrar más armónicos en los silbidos y mantener una buena relación señal-ruido (a 24 bits las grabaciones se saturaban frecuentemente). Sin embargo, este sistema presentó mucho ruido electrónico, por lo que también se utilizó una grabadora digital portátil estéreo DAT marca Sony modelo TCD-D100© utilizando un sólo hidrófono o canal que, aunque sólo puede grabar a 48 kHz y 16 bits, tiene menos ruido electrónico. Esta segunda grabación con la DAT se tomó como respaldo y fue utilizada para obtener grabaciones de los silbidos de los delfines de buena calidad que pudieran ser usadas para tomar mediciones acústicas de los contornos de los silbidos cuando las grabaciones de la Microtrack tuvieran mucho ruido electrónico o

cuando las propias grabaciones de la DAT no se contaminaran con una señal de radio que arbitrariamente podía escucharse en ambos delfinarios (por demodulación de las ondas electromagnéticas en los cables y conexiones). Cabe mencionar que en el estanque del delfinario 2: “Atlantis”, las grabaciones acústicas estuvieron constantemente contaminadas por una señal de radio. Por ello, también se realizaron diferentes pruebas con el objetivo de eliminar esta señal de radio al ubicar los hidrófonos y el equipo de grabación en distintos lugares del delfinario, al aterrizar todo el equipo de distintas maneras, al reemplazar los hidrófonos y al recubrir los cables con distintos materiales metálicos, pero ninguna de ellas fue satisfactoria, por lo que las grabaciones acústicas estuvieron en ocasiones contaminadas por señales de radio, especialmente en el delfinario 2: “Atlantis”.

Entre el 22 de agosto y el 18 de septiembre de 2006 que se realizaron las grabaciones de los sonidos subacuáticos en el estanque oval principal del delfinario 1: “Six Flags” con el arreglo de dos hidrófonos también se determinó la presencia de ruido ambiental y de reverberaciones que pudieran afectar la localización de la fuente sonora. El ruido ambiental es todo sonido ajeno a la señal de interés (en este caso, los silbidos de los delfines). El registro del ruido ambiental es importante debido a que, si la intensidad del ruido es semejante a la de los silbidos y se encuentra dentro del mismo ancho de banda (i.e., coincidiendo en frecuencia), el ruido puede enmascarar a los silbidos (Au & Hastings, 2008).

Las reverberaciones son producto de la reflexión del sonido en las paredes y fondo del estanque, así como en la interfase agua-aire (Au & Hastings, 2008). Por ello, las reverberaciones hacen que los silbidos grabados tengan mayor duración y un contorno que contiene más energía (el contorno se observa más grueso en el espectrograma, Fig. 2.13). Además, se pueden tener reflexiones mucho más evidentes (Fig. 2.13). La presencia de reverberaciones y otras reflexiones dificultan el cálculo del tiempo de retraso (porque se tiene poca tolerancia a la presencia de ruido), la extracción del contorno del silbido y la obtención de valores absolutos de la intensidad, frecuencia y duración de los silbidos, entre otros.

En el estanque oval principal del delfinario 1: “Six Flags” se registró ruido ambiental únicamente por debajo de los 4 kHz con una relación señal-ruido (RSR) máxima de 34 dB_{RSR} a 450 Hz en el perímetro externo del estanque, mientras que en el perímetro interno (colindante a la sala de máquinas) tuvo un valor máximo de 36 dB_{RSR} a 750 Hz.

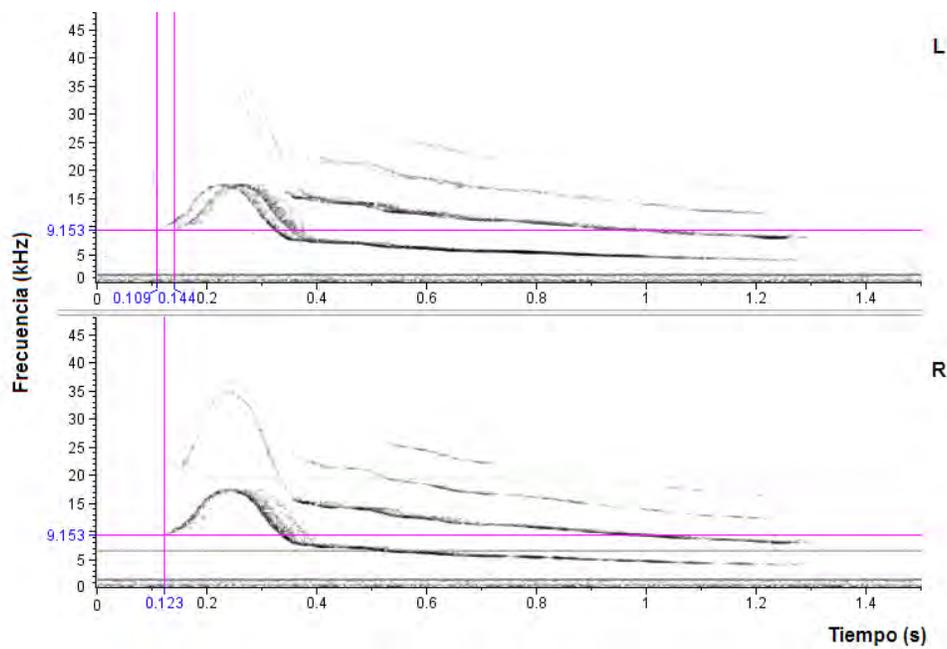


Figura 2.13. Espectrograma de una grabación en dos canales mostrando un silbido con mucha reverberación. A pesar de que el silbido se registró primero en el canal izquierdo ($\tau \approx 14$ ms), el tiempo de retraso calculado por los dos programas de cómputo utilizados fue de 0 ms. Además, en el canal izquierdo (L) se observa claramente una reflexión que arribó 0.035 s después de la señal “directa” (que también incluye reverberación), lo cual equivale a una distancia adicional recorrida de 53 m.

En el estanque rectangular pequeño del delfinario 1: “Six Flags” el ruido ambiental registrado también estuvo principalmente por debajo de los 4 kHz, con 22 dB_{RSR} a 750 Hz. Sin embargo, en este estanque rectangular pequeño también se registró una banda de ruido a 40 kHz con 13 dB_{RSR}.

Cuando los delfines fueron cambiados al estanque rectangular independiente (o de cuarentena) del delfinario 1: “Six Flags” en enero de 2007, también se registró el ruido ambiental en este estanque. Se encontró que el ruido ambiental registrado en cada hidrófono era diferente, siendo mayor en el canal izquierdo porque se grababa el ruido del agua debido a la cercanía con el rebosadero del estanque. Además, cuando se alojaron a los lobos marinos en el mismo estanque, el ruido en el canal derecho se incrementó por el flujo de agua que estos animales creaban al estar nadando constantemente, además de que también se registraron sus vocalizaciones.

En el delfinario 1: “Six Flags” se registraron silbidos cuando los delfines se encontraban en el estanque oval principal y en el rectangular de cuarentena, más no cuando se

encontraban en el estanque rectangular pequeño. Cuando los animales estaban en el estanque rectangular pequeño parecían nerviosos, por lo que probablemente este estanque no tenía las condiciones acústicas adecuadas para que los delfines emitieran silbidos, ya que existía la banda de ruido a 40 kHz. Los silbidos grabados tuvieron una frecuencia fundamental alrededor de los 10 kHz, con un ancho de banda de aproximadamente 16 kHz, una relación señal-ruido entre 1.2 y 1.7 dB_{RSR} sobre el ruido electrónico de la grabadora Microtrack y entre dos y ocho armónicos que se extendían más allá de los 48 kHz. Así, el ruido ambiental en los estanques oval principal y de cuarentena del delfinario 1: “Six Flags” no enmascaraba los silbidos de los delfines.

La reverberación en el estanque oval principal y en el de cuarentena del delfinario 1: “Six Flags” no se trató de eliminar porque fue despreciable si los hidrófonos se colocaban pegados a la pared del estanque (únicamente el 6% de los silbidos grabados presentaron reverberaciones considerables). Entonces, la presencia de reverberación en estos estanques del delfinario 1: “Six Flags” tampoco afectó considerablemente la localización de la fuente sonora.

En abril de 2007 que se comenzaron las grabaciones en el delfinario 2: “Atlantis” también se determinó la presencia de ruido ambiental y de reverberaciones que pudieran influir en la localización de la fuente sonora. El ruido ambiental que se registró en el estanque oval del delfinario 2: “Atlantis” estuvo por debajo de los 40 Hz, con 34 dB_{RSR} a 39 Hz. La reverberación de los silbidos en este estanque fue muy variable y dependió de la distancia entre el hidrófono y el delfín silbador. Los silbidos grabados en el estanque oval del delfinario 2: “Atlantis” cuando estaban presentes los delfines 3 y 4 tuvieron una frecuencia fundamental alrededor de los 8 kHz, con un ancho de banda de aproximadamente 12 kHz y con armónicos que se extendían más allá de los 48 kHz. Así, el ruido ambiental en el estanque del delfinario 2: “Atlantis” no enmascaraba los silbidos de los delfines y la reverberación no afectó considerablemente la localización de la fuente sonora.

Entonces, al casi no contaminarse las grabaciones con una señal de radio en la grabadora digital Microtrack 24/96©, se determinó que este sistema era adecuado para realizar la localización de la fuente sonora y consistió de un arreglo de dos hidrófonos conectado a esta grabadora digital Microtrack 24/96© utilizando una tasa de muestreo de 88.2 o 96kHz y 16 bits de intervalo dinámico.

II.2.1.2. Método de localización acústica utilizado

En este trabajo se utilizó el método de las hipérbolas para encontrar la ubicación de la fuente sonora empleando un arreglo de dos hidrófonos (Fig. 2.5), ya que se vio la viabilidad de instaurar este sencillo método de localización acústica que no requiere de cálculos matemáticos complejos. Al únicamente utilizar dos hidrófonos, como ya se mencionó, la fuente sonora estaría localizada a cualquier profundidad sobre cualquier punto de la rama derecha o izquierda de la hipérbola; y como el arreglo de hidrófonos se colocó sobre la pared del estanque, la fuente sonora debía ubicarse únicamente en la mitad de una rama de la hipérbola (Fig. 2.14). Si el tiempo de retraso entre los hidrófonos $\tau > 0$ s, entonces la fuente se ubicaba en la mitad de la rama izquierda de la hipérbola; si $\tau < 0$ s, entonces la fuente se ubicaba en la mitad de la rama derecha; y si $\tau = 0$ s, entonces la fuente se ubicaba en el centro del estanque (Fig. 2.14). En la Fig. 2.14 también se muestra que la resolución experimental en el cálculo del tiempo de retraso representó una distancia entre hipérbolas menor al tamaño de los delfines.

El cálculo de la ecuación de la hipérbola se realizó empleando el programa de cómputo Excel© para, posteriormente, trazar la hipérbola sobre una fotografía aérea del(os) estanque(s) obtenida mediante Google Earth© (<http://earth.google.com>) (Fig. 2.14), también utilizando el programa de cómputo Excel©. Entonces, una vez que se trazaba la hipérbola sobre la fotografía aérea del estanque se estaba determinando cuál era la ubicación de la fuente sonora, es decir, cuál era la media rama de la hipérbola en el estanque donde podría estar localizado el delfín silbador a cualquier profundidad.

Al utilizar el método de las hipérbolas de localización de la fuente sonora es necesario conocer la velocidad de propagación del sonido en el agua c , la distancia entre los hidrófonos del arreglo d_h y el tiempo de retraso de la señal τ entre los hidrófonos del arreglo para calcular la ecuación de la hipérbola, como ya se mencionó. A continuación se describe cómo se estimaron los valores de c , d_h y τ en este trabajo y cómo se realizaron las grabaciones acústicas.

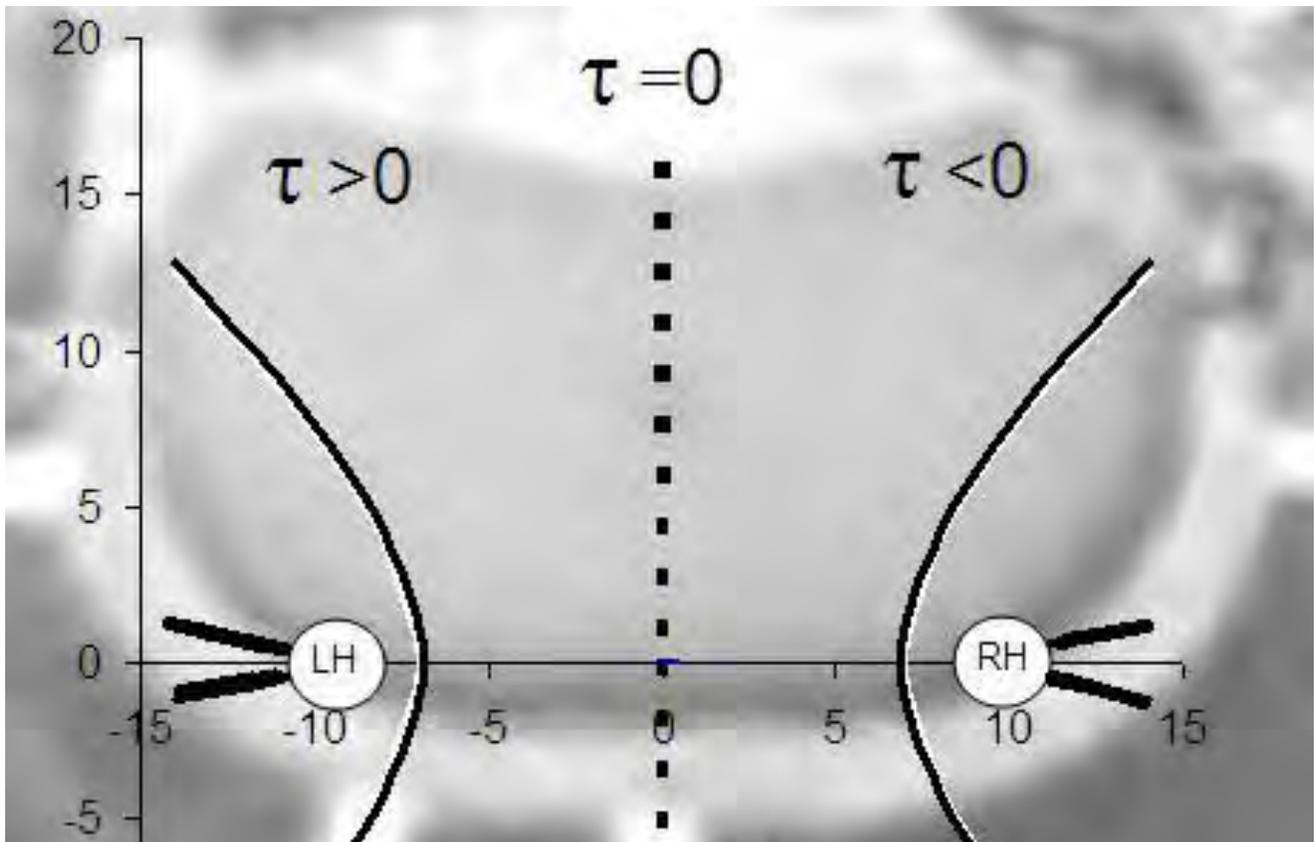


Figura 2.14. Fotografía aérea del estanque oval principal del delfinario 1: “Six Flags” mostrando varias hipérbolas donde la fuente sonora podría estar ubicada al emplear dos hidrófonos (LH: hidrófono izquierdo y RH: hidrófono derecho) separados 20 m. Cuando $\tau > 0$ s, la fuente se ubicaba en la rama izquierda de la hipérbola; cuando $\tau < 0$ s, la fuente se ubicaba en la rama derecha; y cuando $\tau = 0$ s, la fuente se ubicaba en el centro del estanque. La hipérbola punteada es para $0 \text{ s} < \tau < 0.088 \text{ ms}$, el menor tiempo de retraso posible. La hipérbola gruesa es para $\tau_{\text{max}} = 13.333 \text{ ms}$, el mayor tiempo de retraso posible. Las hipérbolas negra y blanca son para $\tau = 9.004 \text{ ms}$ y $\tau = 9.092 \text{ ms}$, respectivamente, mostrando una diferencia de 0.088 ms , que fue la máxima resolución de los programas de cómputo empleados para calcular el tiempo de retraso. La fotografía aérea del estanque fue tomada de <http://earth.google.com> con la mayor resolución posible.

II.2.1.3. Cálculo de la velocidad de propagación del sonido

La velocidad de propagación del sonido en el agua de mar es de aproximadamente 1500 m/s. Este valor varía principalmente por la temperatura del agua, la salinidad del agua y la profundidad a la que se encuentra la fuente. Medwin (1975) desarrolló una fórmula para calcular la velocidad de propagación del sonido en el agua del mar considerando estos tres parámetros como sigue:

$$c_{(T,S,z)} = 1449.2 + 4.6T - 0.055 T^2 + 0.00029T^3 + (1.34 - 0.01T)(S - 35) + 0.016z$$

donde c es la velocidad de propagación del sonido en el agua marina calculada con una precisión de ± 5 m/s, T es la temperatura del agua en $^{\circ}\text{C}$ para valores entre 0 y 35°C , S es la salinidad en partes por mil para valores entre 0 y 45 ‰ y z es la profundidad de la fuente sonora en metros para valores entre 0 y 1000 m.

Durante la realización de este trabajo, la temperatura y salinidad del agua de los estanques se midió al principio y al final de las grabaciones acústicas tomando una muestra de agua desde la orilla del estanque y se calculó el promedio diario (ver Tablas 1.1 y 1.2). Los valores al principio y al final del muestreo fueron prácticamente iguales para todas las sesiones de grabación acústica. La salinidad se midió con un refractómetro con una precisión de ± 0.5 ‰ y la temperatura con un termómetro de mercurio con una precisión de ± 0.5 $^{\circ}\text{C}$. Como se desconocía la profundidad a la que se encontraba el delfín cuando silbó, se consideró una profundidad de dos metros, equivalente a la posición a media agua a la que se siempre se colocaron los hidrófonos o receptores.

En los estanques, los valores de temperatura se encontraron dentro de un rango de 15 a 26°C y los de salinidad entre 24 y 35 ‰, por lo que se calcularon los valores de la velocidad de propagación del sonido para este intervalo utilizando la ecuación de Medwin (1975), encontrándose que la velocidad de propagación del sonido en los estanques probablemente varió entre 1490 y 1540 m/s (Tabla 2.2). Cabe mencionar que para realizar esta estimación se está suponiendo que el agua de los estanques tiene una temperatura y salinidad homogénea en todo el estanque. Entonces, aunque la variabilidad en la velocidad de propagación del sonido calculada es de alrededor de un 3%, se decidió calcular la velocidad de propagación del sonido con la ecuación de Medwin (1975) para cada uno de los días de grabación utilizando los valores promedio de temperatura y salinidad obtenidos a partir de los valores medidos *in situ* al principio y al final del día de muestreo (Tabla 2.2) en vez de utilizar un valor promedio (como lo sería un valor de 1516 m/s). Estos valores de velocidad de propagación del sonido diarios fueron utilizados para todos los cálculos de la ecuación de la hipérbola que sería usada para localizar la fuente sonora.

II.2.1.4. Registro de audio

El sistema utilizado en este estudio para obtener las grabaciones que se emplearon para determinar la localización de la fuente sonora consistió de un arreglo de dos hidrófonos con

transductores, ya fueran modelo 8200 ($-198 \pm 1\text{dB}$ re $1\text{V}/\mu\text{Pa}$ de 3 Hz a 100 kHz) o modelo ST100 (-195dB re $1\text{V}/\mu\text{Pa}$ de 1Hz a 42kHz), colocados a los lados del estanque a media agua, a una profundidad $z=2$ m, y conectados, el hidrófono derecho en el canal derecho y el hidrófono izquierdo en el canal izquierdo de una grabadora digital portátil estéreo marca M-Audio modelo Microtrack 24/96© operando a una tasa de muestreo de 96kHz u 88 kHz y 16 o 24 bits de intervalo dinámico (Tabla 2.3), por lo que el sistema de grabación tuvo una respuesta plana en frecuencia de 20 Hz a 41 kHz a la tasa de muestreo de 88kHz y de 20 Hz a 45 kHz a la tasa de muestreo de 96 kHz. Los sonidos digitalizados se guardaron en tarjetas CompactFlash para ser posteriormente transferidos al disco duro de una computadora utilizando un puerto USB. Por ello, el sistema arreglo-grabadora tuvo la respuesta de frecuencia plana de la grabadora digital.

En el delfinario 1: “Six Flags” los hidrófonos estuvieron separados 20 m (14 días de muestreo) y 10 m (1 día de muestreo) cuando las grabaciones se hicieron en el estanque oval principal. Cuando las grabaciones se hicieron en el estanque de cuarentena y los lobos no estaban presentes (3 días), los hidrófonos estuvieron separados 17 m y cuando las grabaciones se hicieron en el estanque de cuarentena y los lobos sí estaban presentes (4 días), los hidrófonos estuvieron separados 12 m (Tabla 2.3).

Tabla 2.2. Valores de la velocidad de propagación del sonido en el agua en m/s calculados utilizando la ecuación de Medwin (1975) considerando una profundidad de 2 m.

Salinidad (‰)	20	22	24	26	28	30	32	34	36
Temperatura (°C)									
14	1485	1490	1490	1495	1495	1500	1500	1500	1505
16	1490	1495	1495	1500	1500	1505	1505	1510	1510
18	1500	1500	1500	1505	1510	1510	1510	1515	1515
20	1505	1505	1505	1510	1515	1515	1520	1520	1520
22	1510	1510	1510	1515	1520	1520	1525	1525	1530
24	1515	1520	1520	1520	1525	1525	1530	1530	1535
26	1520	1525	1525	1525	1530	1530	1535	1535	1540

Tabla 2.3. Características del equipo del sistema de grabación acústica utilizado para la localización de la fuente sonora en el delfinario 1: “Six Flags” durante cada día de muestreo, mostrando la velocidad de propagación del sonido, c calculada, el tipo de hidrófonos utilizados, la distancia a la que se separaron los hidrófonos del arreglo y la grabadora utilizada, especificando la tasa de muestreo y el intervalo dinámico de las grabaciones digitales realizadas.

# de día de muestreo	fecha	c (m/s)	Hidrófonos utilizados	Distancia entre hidrófonos (m)	Grabadora utilizada	Tasa de muestreo utilizada (KHz)	Intervalo dinámico utilizado (número de bits)
1	3-oct-06	1525	L:ST101,R:BM8261 & L:BM8261,R:ST101	20	Microtrack	88.2	16
2	11-oct-06	1520	L:8203,R:8202	20	Microtrack	88.2	16
3	17-oct-06	1520	L:8203,R:8202	20	Microtrack	88.2	16
4	18-oct-06	1520	L:8203,R:8202	20	Microtrack	88.2	16
5	23-oct-06	1515	L:8203,R:8204	10	Microtrack	88.2	16
6	30-oct-06	1515	L:8203,R:8202	20	Microtrack	88.2	16
7	27-nov-06	1515	L:8203,R:8202	20	Microtrack	88.2	16
8	4-dic-06	1500	L:8203,R:8202	20	Microtrack	88.2	16
9	11-dic-06	1505	L:8204,R:8203	20	Microtrack	88.2	16
10	18-dic-06	1505	L:8204,R:8203	20	Microtrack	88.2	16
11	5-ene-07	1495	L:8204,R:8203	20	Microtrack	88.2	16
12	15-ene-07	1500	L:8204,R:8203	20	Microtrack	88.2	16
13	16-ene-07	1505	L:8204,R:8203	20	Microtrack	88.2	16
14	31-ene-07	1515	L:8204,R:8203 & L:ST104,R:ST103	17	Microtrack	88.2	16
15	13-feb-07	1515	L:8203,R:8204	17	Microtrack	88.2	16
16	5-mar-07	1520	L:ST104,R:ST103	17	Microtrack	88.2	16
17	27-mar-07	1520	L:8203,R:8204	12	Microtrack	88.2	16
18	4-may-07	1525	L:8203,R:8204	12	Microtrack	96	24
19	11-may-07	1520	L:8203,R:8204	12	Microtrack	88.2	16
20	17-may-07	1530	L:8203,R:8204	12	Microtrack	96	16
21	13-sep-07	1515	L:8203,R:8204	20	Microtrack	96	16
22	10-oct-07	1520	L:8203,R:8204	20	Microtrack	96	16

En el delfinario 2: “Atlantis” los hidrófonos estuvieron separados 15 u 11 m y las grabaciones acústicas se hicieron con la grabadora Microtrack 24/96© a una tasa de muestreo de 96kHz y 16 o 24 bits de intervalo dinámico (Tabla 2.4). Cabe mencionar que la distancia en el delfinario 2: “Atlantis” se redujo a 11 m para que el arreglo de hidrófonos quedara sobre la pared recta que está del lado de las gradas.

Una vez obtenidas las grabaciones, éstas se analizaron con la ayuda de los programas de cómputo Adobe Audition© versión 1.5, Canary© 1.2.4 y Raven© 1.3. Estos programas realizan la Transformada de Fourier en Tiempo Corto utilizando distintos algoritmos (p. ej., la Transformada Rápida de Fourier o FFT por sus siglas en inglés; Beecher, 1982), lo cual permite extraer la información espectral de las señales (Kay, 1988) y obtener su espectrograma, una representación de su cambio en la frecuencia y amplitud en el tiempo.

Tabla 2.4. Características del equipo del sistema de grabación acústica utilizado para la localización de la fuente sonora en el delfinario 2: “Atlantis” durante cada día de muestreo, mostrando la velocidad de propagación del sonido, c calculada, el tipo de hidrófonos utilizados, la distancia a la que estaban separados los hidrófonos del arreglo y la grabadora utilizada, especificando la tasa de muestreo y el intervalo dinámico de las grabaciones digitales realizadas.

# de día de muestreo	fecha	c (m/s)	Hidrófonos utilizados	Distancia entre hidrófonos (m)	Grabadora utilizada	Tasa de muestreo utilizada (kHz)	Intervalo dinámico utilizado (número de bits)
1	9/abr/07	1510	L:ST103,R:ST104	15	Microtrack	96	16
2	16/abr/07	1513	L:ST103,R:ST104	15	Microtrack	96	16
3	23/abr/07	1513	L:ST103,R:ST104	11	Microtrack	96	16
4	30/abr/07	1515	L:ST103,R:ST104	11	Microtrack	96	16
5	7/may/07	1517	L:8203,R:8204	11	Microtrack	96	16
6	14/may/07	1518	L:8203,R:8204	11	Microtrack	96	24
7	21/may/07	1517	L:8213,R:8202	11	Microtrack	96	16
8	25/may/07	1518	L:8203,R:8204	11	Microtrack	96	16
9	2/jun/07	1519	L:8203,R:8204	11	Microtrack	96	16
10	9/jun/07	1516	L:8203,R:8204	11	Microtrack	96	16
11	16/jun/07	1517	L:8203,R:8204	11	Microtrack	96	16
12	30/jun/07	1522	L:8203,R:8204	11	Microtrack	96	16
13	6/ago/07	1522	L:8203,R:8204	11	Microtrack	96	16
14	13/ago/07	1523	L:8203,R:8204	11	Microtrack	96	16
15	20/ago/07	1521	L:8203,R:8204	11	Microtrack	96	16
16	27/ago/07	1522	L:8203,R:8204	11	Microtrack	96	16
17	3/sep/07	1515	L:8203,R:8204	11	Microtrack	96	16
18	17/sep/07	1513	L:8203,R:8204	11	Microtrack	96	16
19	24/sep/07	1515	L:8203,R:8204	11	Microtrack	96	16
20	1/oct/07	1516	L:8203,R:8204	11	Microtrack	96	16
21	15/oct/07	1515	L:ST103,R:ST104, L:ST103,R:8203, L:ST103,R:8213, L:8203,R:8213 & L:8203,R:ST104	11	Microtrack	96	16 & 24
22	29/oct/07	1510	L:ST103,R:ST104	11	Microtrack	96	16
23	12/nov/07	1509	L:ST103,R:ST104	11	Microtrack	96	16
24	4/ene/08	1500	L:ST103,R:ST104	11	Microtrack	96	16

Usando el programa de cómputo Adobe Audition© versión 1.5 se generaron los espectrogramas de las grabaciones utilizando 512 puntos y una ventana Hamming para identificar cada contorno del silbido (Dreher, 1961) usando ventanas de 3 s de duración por 44 o 48 kHz de ancho de banda para siempre tener la misma resolución temporal y espectral al seleccionar los silbidos a analizar. Los silbidos que se seleccionaron debían tener una buena calidad, es decir, tenían una buena relación señal-ruido, tenían claridad en su contorno (particularmente al inicio y al final), no estaban traslapados con chasquidos y/u otros silbidos y no estaban cortados por el método de grabación (Bazúa-Durán y Au, 2002).

Cuando se encontraron silbidos consecutivos, éstos se consideraron diferentes silbidos cuando estaban separados más de 200ms o bien por una duración mayor a la de ambos silbidos (Bazúa-Durán y Au, 2002). También se consideraron distintos silbidos cuando la diferencia en la frecuencia final del primero y la inicial del segundo fue mayor de 3 kHz o cuando la intensidad de uno era de al menos el doble de la del otro (Bazúa-Durán y Au, 2002).

Cada silbido seleccionado se guardaba en un archivo de sonido con formato *.wav que incluía ambos canales con una duración de al menos 1.5 s. Cuando se encontraba un silbido de mayor duración, se consideraban 0.1 s previos y 0.1 s posteriores al silbido para guardar el archivo de un silbido de duración mayor a 1.5 s. Estos archivos *.wav fueron verificados utilizando el programa de cómputo Raven© 1.3 al generar los espectrogramas utilizando 512 puntos, una ventana Hamming y un 50% de traslape entre ventanas. Los archivos *.wav verificados fueron utilizados para calcular el tiempo de retraso.

II.2.1.5. Cálculo del tiempo de retraso

El tiempo de retraso entre los dos canales que registraron la misma señal se midió empleando la correlación de la forma de onda u oscilograma calculada con los programas de cómputo Canary© versión 1.2.4 (Charif *et al.*, 1995) y Raven© versión 1.3 (Charif *et al.*, 2008). Este valor del tiempo de retraso representa la diferencia en el tiempo de arribo del sonido a uno y otro hidrófono y se obtuvo con una precisión experimental de 0.088 ms y 0.052 ms para los programas de cómputo Canary© y Raven©, respectivamente (Fig. 2.12).

Para poder calcular la correlación con los programas de cómputo Canary© y Raven©, ambos canales debían contener todo el contorno del silbido y el silbido no podía estar traslapado con otros sonidos. Si se realizaba la correlación con un silbido que no cumplía con estas dos condiciones, se obtenía un valor del tiempo de retraso mayor al τ_{\max} de acuerdo a la distancia entre hidrófonos (p. ej., $\tau > \tau_{\max} = 13.333$ ms para una distancia entre hidrófonos de 20 m), con lo cual se obtenía una hipérbola imaginaria y, por ende, un resultado incongruente. En ocasiones, si únicamente se consideraban para realizar la correlación los primeros 20 ms del contorno del silbido que no contenían reflexiones como las que se muestran en la Fig. 2.13, era posible obtener un valor del tiempo de retraso congruente.

II.2.2. Identificación del delfín emisor

Una vez que se determinó cuál era la media hipérbola sobre la cual estaba la fuente sonora dentro del estanque, había que determinar si un delfín se encontraba en dicho lugar (Fig. 2.15) y qué delfín era. Por ello, también era necesario contar con el registro de la posición de los delfines simultáneamente a las grabaciones acústicas para tener una referencia de la localización de los individuos en los estanques durante las sesiones de grabación acústica. Para contar con este registro se estableció un sistema de videograbación y de toma de datos escritos.

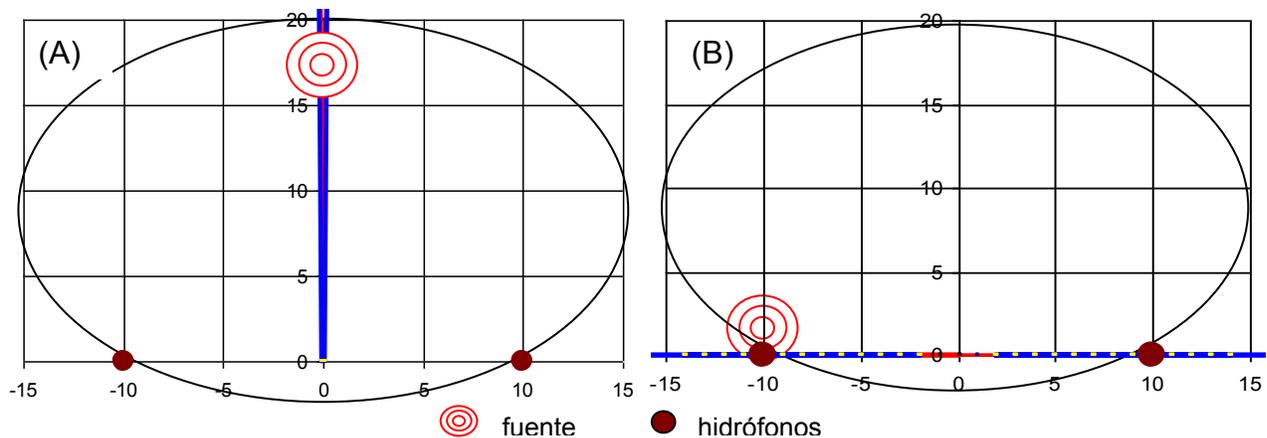


Figura 2.15. Localización de un delfín que era la fuente sonora utilizando un arreglo de dos hidrófonos separados una distancia de 20 m y las videograbaciones con la cámara VR1 para (A) un tiempo de retraso mínimo de 0 s a 0° y para (B) un tiempo de retraso máximo de 13.193 ms a 90° . La fuente sonora se encontraba en cualquier punto sobre las curvas azules y el delfín que era la fuente sonora se encontraba en los círculos rojos.

Se buscó la posición óptima en la cual se pudiera colocar la videocámara para lograr registrar la posición e identificación de los delfines en todo el estanque oval principal del delfinario 1: “Six Flags” y se encontró que las dimensiones del estanque, aunadas a la apertura y resolución de las videocámaras comerciales, no permitían videograbar todo el estanque en una sola toma y mantener una resolución adecuada. Por ello, se usó una segunda videocámara que registró el área no cubierta por la primera videocámara y que se colocó a una menor distancia para tener una resolución que permitiera conocer la identidad de los delfines (Fig. 2.15). La segunda videocámara contó con una entrada de audio para un

hidrófono, de tal forma que se grabaran en el video tanto la posición de los delfines en el estanque como sus fonaciones. Cabe mencionar que el audio subacuático de la videocámara también se contaminó con una señal de radio.

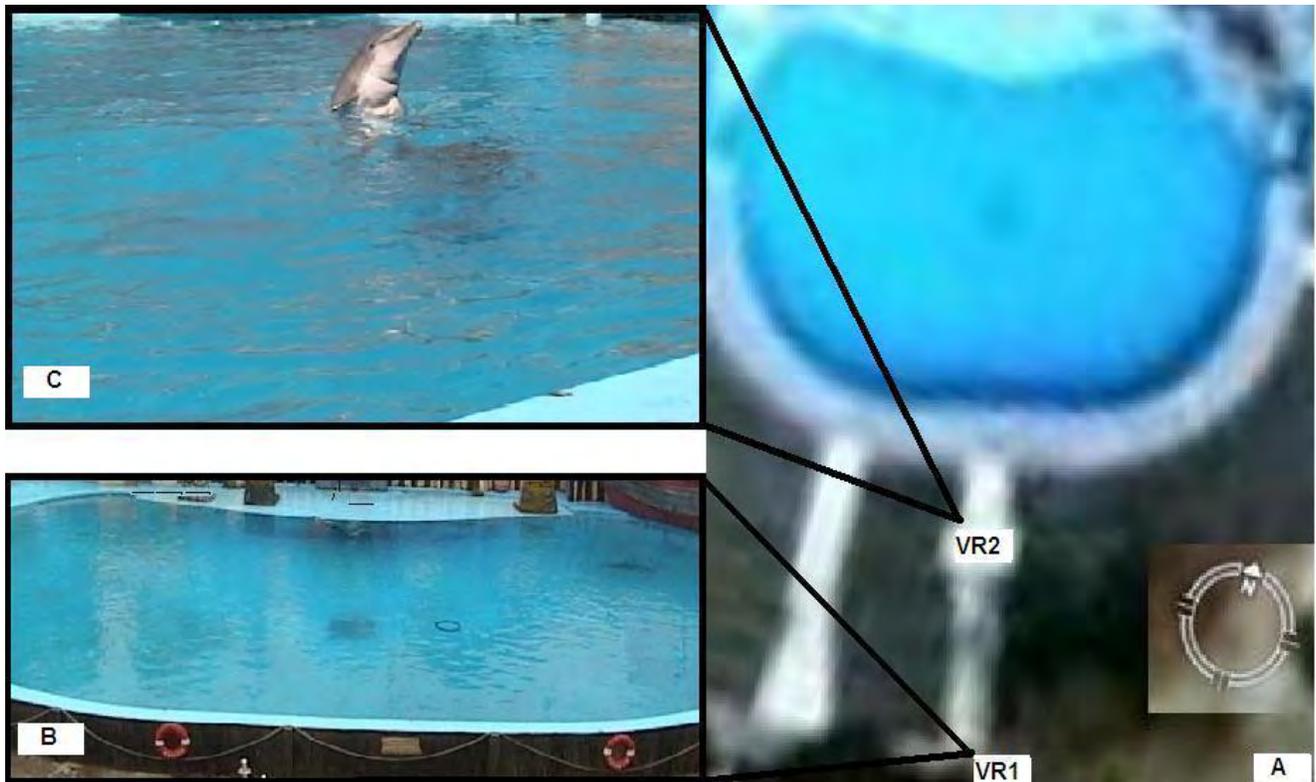


Figura 2.16. (A) Fotografía aérea del estanque oval principal del delfinario 1: “Six Flags” mostrando los lugares donde se colocaron las dos videocámaras, VR1 y VR2. (B) Toma lejana, casi completa del estanque, con la cámara VR1. (C) Toma cercana del estanque con la cámara VR2 para poder identificar al delfín videograbado. La fotografía aérea del estanque fue tomada de <http://earth.google.com> con la mayor resolución posible.

Se diseñó un formato escrito en el que se dividió al(os) estanque(s) en seis cuadrantes para anotar durante el muestreo la posición de los dos delfines en cada cuadrante al momento de escuchar un silbido (Fig. 2.17).

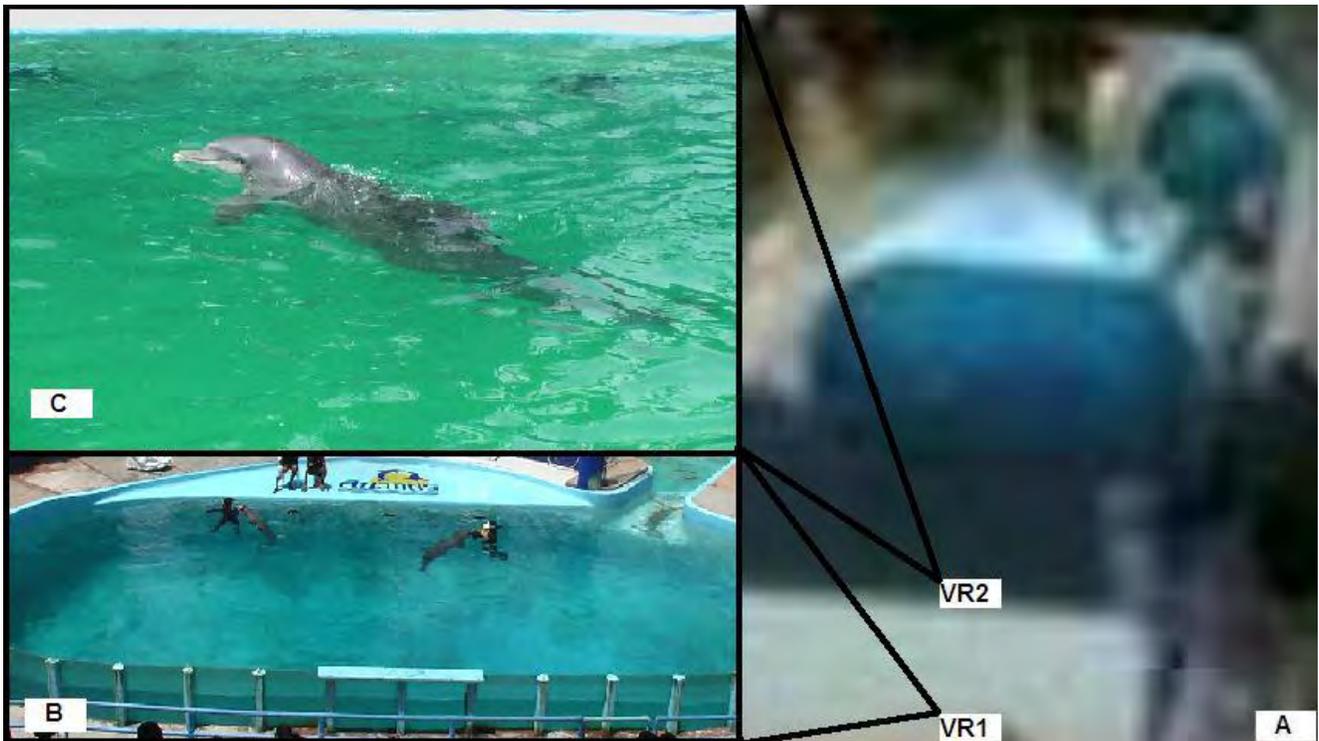


Figura 2.18. (A) Fotografía aérea del estanque semioval del delfinario 2: “Atlantis” mostrando los lugares donde se colocaron las dos videocámaras, VR1 y VR2. (B) Toma casi completa del estanque con la cámara VR1. (C) Toma cercana del estanque con la cámara VR2 para poder identificar al delfín videograbado. La fotografía aérea del estanque fue tomada de <http://earth.google.com> con la mayor resolución posible.

En el delfinario 1: “Six Flags” esta cámara VR2 se colocó sobre las gradas del estanque oval principal a 5 m de la orilla en la parte central del estanque (Fig. 2.16A) para obtener una toma como se muestra en la figura 2.16C. En el estanque de cuarentena, ambas cámaras se colocaron en la esquina SW del estanque (el único lugar posible donde se podían ubicar) (Fig. 2.19A), realizando cada cámara una toma a diferente ángulo para obtener una toma como se muestra en las figuras 2.19B y 2.19C. En el delfinario 2: “Atlantis” esta cámara VR2 se colocó sobre las gradas del estanque semioval a 8 m de la orilla en la parte central del estanque (Fig. 2.18A) para obtener una toma como se muestra en la figura 2.18C.



Figura 2.19. (A) Fotografía aérea del estanque de cuarentena del delfinario 1: “Six Flags” mostrando el lugar donde se colocaron las dos videocámaras, VR1 y VR2. (B) Toma casi completa cercana del estanque con la cámara VR1. (C) Toma cercana del estanque con la cámara VR1 para cubrir el área no tomada con la VR1. Ambas tomas se usaron para poder identificar al delfín videograbado. La fotografía aérea del estanque fue tomada de <http://earth.google.com> con la mayor resolución posible.

II.2.2.2. Adjudicación de silbidos

Las imágenes obtenidas con la cámara VR1, en donde se apreciaba casi todo el estanque, se usaron para dividir a los estanques en seis cuadrantes (Fig. 2.20, 2.21, 2.22) y entonces poder confirmar si se encontraba un delfín sobre la media rama de la hipérbola donde se ubicaba la fuente sonora. Los datos escritos también se utilizaron para confirmar si se encontraba un delfín sobre la media rama de la hipérbola donde se ubicaba la fuente sonora. Como la cámara VR1 no tenía entrada de audio subacuática, se sincronizaron las grabaciones de video con las de audio para relacionar cada emisión de silbidos con la posición de los delfines. El graficar la hipérbola sobre la fotografía aérea del estanque fue de gran utilidad cuando se procedió a determinar si existía o no un delfín en la ubicación de la fuente sonora. La precisión experimental en la obtención del tiempo de retraso representó una distancia entre hipérbolas menor al tamaño de los delfines (Fig. 2.14), por lo que no constituyó un problema en determinar si se encontraba un delfín sobre la media rama de la hipérbola donde se ubicaba la fuente sonora. Las imágenes obtenidas con la cámara VR2, junto con los datos escritos, se utilizaron para identificar cuál de los dos delfines fue el que silbó.



Figura 2.20. Toma casi completa del estanque oval principal del delfinario 1: "Six Flags" con la cámara VR1 mostrando la retícula de seis cuadrantes utilizada para confirmar si se encontraba un delfín sobre la media rama de la hipérbola donde se ubicaba la fuente sonora.

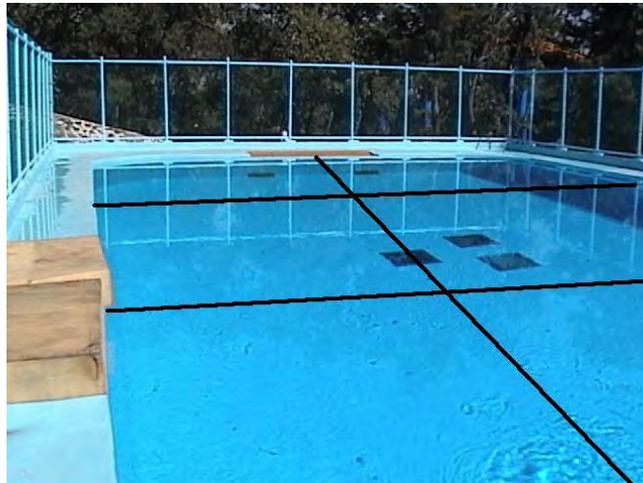


Figura 2.21. Toma casi completa del estanque de cuarentena del delfinario 1: "Six Flags" con la cámara VR1 mostrando la retícula de seis cuadrantes utilizada para confirmar si se encontraba un delfín sobre la media rama de la hipérbola donde se ubicaba la fuente sonora.

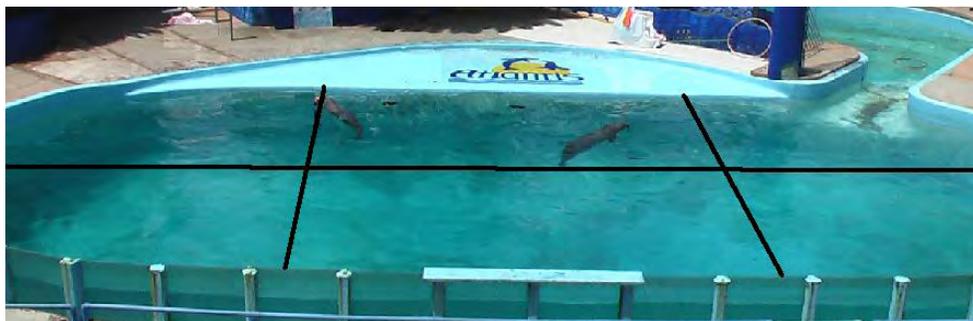


Figura 2.22. Toma casi completa del estanque semioval del delfinario 2: "Atlantis" con la cámara VR1 mostrando la retícula de seis cuadrantes utilizada para confirmar si se encontraba un delfín sobre la media rama de la hipérbola donde se ubicaba la fuente sonora.

II.3. Resultados

II.3.1. Delfinario 1: “Six Flags”

La recolección de datos en el delfinario 1: “Six Flags” se llevó a cabo durante 36 días entre el 03 de octubre de 2006 y el 24 de octubre de 2007 (sin incluir el periodo del 22 de agosto al 20 de septiembre de 2006 cuando se realizó el estudio prospectivo; Tabla 1.1). El esfuerzo de muestreo dependió de la autorización del parque para realizar este trabajo, ya que no en todos los días de “descanso” fue posible realizar la recolección de datos. De los días en que se recolectaron datos, en diez no se grabaron silbidos, en tres no se tuvo registro de video y en uno no se tuvo registro de audio (39% de los días de muestreo), por lo que únicamente se consideraron 22 días de muestreo para tratar de calcular la ubicación de la fuente en el delfinario 1: “Six Flags” y durante los cuales se grabaron 3679 minutos (61.32 horas) en los que se tuvieron 329 minutos con 946 silbidos (Tabla 2.5) utilizando distintas distancias entre hidrófonos.

El poder calcular el tiempo de retraso para obtener la ecuación de la hipérbola dependió de cómo se registraron los silbidos en las grabaciones (Fig. 2.23), ya que para 56 silbidos no se pudo calcular una hipérbola (Tabla 2.6) porque se obtenía un valor del tiempo de retraso fuera del rango posible (i.e., fuera del rango $0 \text{ ms} < \tau < \tau_{\text{max}}$). Estos silbidos tenían algunas de las siguientes características:

1. El silbido estaba muy atenuado en uno o ambos canales, presentando una baja relación señal-ruido en ambos canales (Fig. 2.23A) o estando muy atenuado en uno de los canales (pareciera como si el silbido sólo se grabara en un canal, Fig. 2.23B).
- 2.- Se registró todo el contorno del silbido en un canal y sólo un fragmento de éste en el otro, pudiendo obtener diferente contorno en cada canal para el mismo silbido (Fig. 2.23C) o un contorno incompleto en el canal con la mayor amplitud (Fig. 2.23D).
- 3.- El contorno se cortó a determinada frecuencia en uno de los canales pese a tener bien definido el inicio y el final del silbido en ambos canales (Fig. 2.23E).
- 4.- El silbido se traslapó con otros sonidos, especialmente con chasquidos de ecolocalización (Fig. 2.23F).

CAPÍTULO II RESULTADOS DE LOCALIZACIÓN E IDENTIFICACIÓN DEL EMISOR

Tabla 2.5. Esfuerzo de muestreo en el delfinario 1: “Six Flags”, mostrando el tiempo de grabación y el número de silbidos obtenidos durante los días en que se tomaron los datos utilizados para tratar de calcular la ubicación de la fuente sonora.

# de día de muestreo	fecha	tiempo de grabación (min)	número de minutos grabados con silbidos	número de silbidos grabados
1	3-oct-06	114.2	7	18
2	11-oct-06	144.1	18	56
3	17-oct-06	90.9	20	41
4	18-oct-06	75.5	3	5
5	23-oct-06	192.2	45	131
6	30-oct-06	157.7	32	95
7	27-nov-06	48.0	2	5
8	4-dic-06	90.1	3	7
9	11-dic-06	76.8	20	44
10	18-dic-06	145.2	18	74
11	5-ene-07	66.9	7	11
12	15-ene-07	228.5	15	32
13	16-ene-07	144.4	2	3
14	31-ene-07	96.4	1	2
15	13-feb-07	74.0	8	8
16	5-mar-07	144.3	2	4
17	27-mar-07	95.4	28	113
18	4-may-07	40.8	4	7
19	11-may-07	15.2	3	9
20	17-may-07	78.9	2	2
21	13-sep-07	1440.0	74	244
22	10-oct-07	120.0	15	35
TOTAL		3679.3	329	946
PROMEDIO		167.2	15.0	43.0
DESVIACIÓN ESTÁNDAR		288.7	17.6	59.0
MAXIMO		1440.0	74	244
MINIMO		15.2	1	2

Tabla 2.6. Número de silbidos grabados en el delfinario 1: “Six Flags” para los que no se pudo identificar la fuente sonora utilizando el método acústico-visual combinado de acuerdo a la distancia entre los hidrófonos del arreglo, indicando el porcentaje que representan del total de los 946 silbidos analizados.

Explicación	Distancia entre hidrófonos				Silbidos no localizados
	10 m	12 m	17 m	20 m	
silbido muy atenuado (sólo en un canal o sólo parte del contorno) o traslapado con otro sonido	6	19	1	30	56 (5.9%)
uno o ningún delfín en la toma de la videocámara	6	2	1	31	40 (4.3%)
ningún delfín ubicado en la hipérbola calculada	13	0	3	122	138 (14.6%)
un delfín ubicado en la hipérbola calculada, pero que no era el delfín silbante	0	6	2	14	22 (2.3%)
TOTAL	25	27	7	197	256 (27.1%)

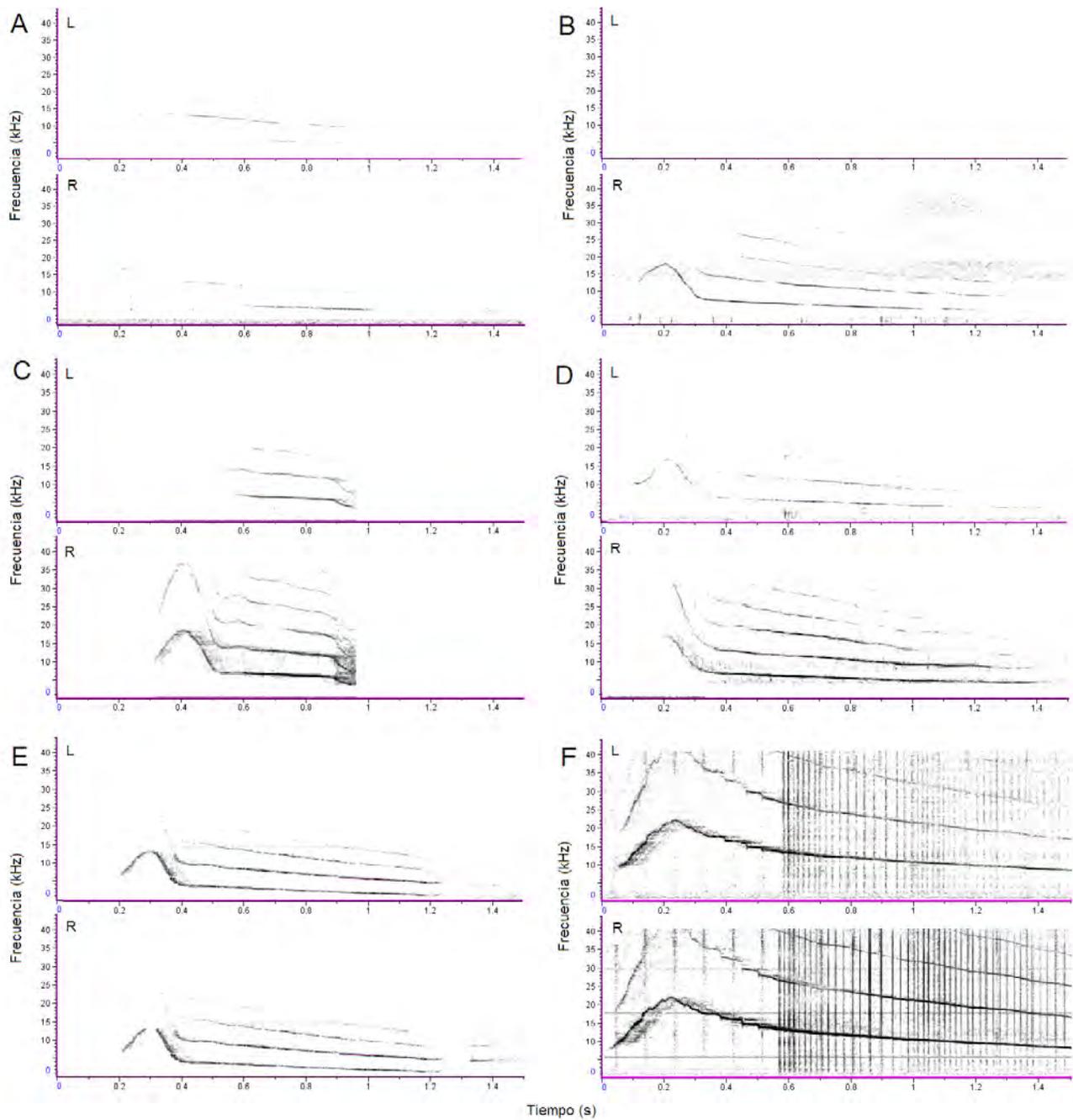


Figura 2.23. Espectrogramas de los silbidos grabados en dos canales (L y R) que ejemplifican las distintas situaciones por las que no se pudo calcular el tiempo de retraso: (A) silbido muy atenuado, (B) silbido observable en un solo canal, (C) diferente contorno en cada canal para el mismo silbido, (D) contorno incompleto en el canal con la mayor amplitud, (E) contorno cortado a determinada frecuencia en uno de los canales y (F) silbido traslapado con otro(s) sonido(s) (p.ej., chasquidos).

CAPÍTULO II RESULTADOS DE LOCALIZACIÓN E IDENTIFICACIÓN DEL EMISOR

Para los 890 silbidos que fue posible calcular un tiempo de retraso y obtener una hipérbola, en 178 silbidos ningún delfín estaba ubicado sobre la hipérbola calculada (18.9% de los silbidos analizados; Tabla 2.6), ya fuera que se veían los dos delfines en la toma de la videocámara o sólo un delfín, o ninguno, estaba en la toma de la videocámara. Además, para 22 silbidos se encontró posteriormente que el delfín que había sido identificado como el emisor no lo era (Tabla 2.6). Así, únicamente para 690 silbidos fue posible determinar que un delfín se encontraba ubicado sobre la hipérbola calculada (72.9% de los silbidos analizados; Tabla 2.7). Esto indica que el método acústico-visual combinado desarrollado tuvo una eficiencia de 0.73 en localizar la fuente sonora.

Si se toma en cuenta la separación entre hidrófonos del arreglo, se tendría una eficiencia de localización de la fuente sonora de 0.71 para el arreglo de 20 m, 0.50 para el arreglo de 17 m, 0.79 para el arreglo de 12 m y 0.81 para el arreglo de 10 m (Tabla 2.8). Estos resultados indican que la eficiencia de un arreglo es inversamente proporcional a la distancia entre hidrófonos, lo cual no coincide con la hipótesis de que la eficiencia de un arreglo es directamente proporcional a la distancia entre hidrófonos.

Tabla 2.7. Número de silbidos grabados en el delfinario 1: "Six Flags" para los que fue posible e imposible localizar la fuente sonora de acuerdo a la distancia entre los hidrófonos del arreglo, indicando el porcentaje que representan del total de silbidos analizados y el esfuerzo de grabación para cada arreglo.

Explicación	Distancia entre hidrófonos				TOTAL
	10 m	12 m	17 m	20 m	
Fuente sonora localizada	106	104	7	473	690 (72.9%)
Fuente sonora no localizada	25	27	7	197	256 (27.1%)
TOTAL de silbidos	131	131	14	670	946
Tiempo de grabación total (min)	192	230	315	2942	3679
Tiempo de grabación con silbidos (min)	45	37	11	236	329

Para los 690 silbidos que fue posible determinar si un delfín se encontraba ubicado sobre la hipérbola calculada, en 95 silbidos ambos delfines estaban ubicados sobre la hipérbola, generalmente uno junto al otro, y para 25 silbidos únicamente un delfín estaba en la toma de la videocámara (Tabla 2.9). Así, únicamente para 570 silbidos fue posible

CAPÍTULO II RESULTADOS DE LOCALIZACIÓN E IDENTIFICACIÓN DEL EMISOR

determinar qué delfín emitió el silbido; 188 silbidos fueron adjudicados al delfín 1 y 382 silbidos al delfín 2 (Tabla 2.10). Por ello, la eficiencia del método acústico-visual combinado desarrollado en el presente trabajo disminuyó en 0.13 debido al comportamiento de los delfines, para obtener una eficiencia de adjudicación de los silbidos de 0.60.

Tabla 2.8. Eficiencia en la localización de la fuente sonora y adjudicación del delfín silbante de los silbidos grabados en el delfinario 1: “Six Flags” utilizando el método acústico-visual combinado de acuerdo a la distancia entre los hidrófonos del arreglo. A = adjudicaciones realizadas cuando ambos delfines no estaban ubicados del mismo lado del estanque, es decir, uno en el lado derecho y otro en el lado izquierdo; B = adjudicaciones realizadas cuando los delfines estaban ubicados del mismo lado del estanque, es decir, ambos en el lado derecho o en el lado izquierdo.

Explicación	Distancia entre hidrófonos				TOTAL
	10 m	12 m	17 m	20 m	
Eficiencia de localización	0.81	0.79	0.50	0.71	0.73
Eficiencia de adjudicación total	0.76	0.62	0.43	0.57	0.60
Eficiencia de adjudicación A	0.25	0.44	0.07	0.15	0.20
Eficiencia de adjudicación B	0.51	0.18	0.36	0.42	0.40

Tabla 2.9. Número de silbidos grabados en el delfinario 1: “Six Flags” para los que no se pudo identificar el delfín silbante utilizando el método acústico-visual combinado de acuerdo a la distancia entre los hidrófonos del arreglo, indicando el porcentaje que representan del total de los 946 silbidos analizados.

Explicación	Distancia entre hidrófonos				Silbidos no adjudicados
	10 m	12 m	17 m	20 m	
ambos delfines ubicados sobre la hipérbola calculada	6	0	1	88	95 (10.0%)
un delfín ubicado en la hipérbola calculada, pero el otro delfín fuera de la toma de la videocámara	1	23	0	1	25 (2.7%)
TOTAL	7	23	1	89	120 (12.7%)

Esta eficiencia de adjudicación del delfín silbante se analizó tomando en cuenta la posición de los delfines en uno u otro lado del estanque, por lo que se tendría una eficiencia de 0.28 cuando ambos delfines no estaban ubicados del mismo lado del estanque, es decir, uno en el lado derecho y otro en el lado izquierdo; y de 0.57 cuando los dos delfines

estaban ubicados del mismo lado del estanque, es decir, ambos en el lado derecho o en el lado izquierdo (Tabla 2.8).

Tabla 2.10. Número de silbidos adjudicados al delfín silbante en el delfinario 1: “Six Flags” utilizando el método acústico-visual combinado de acuerdo a la distancia entre los hidrófonos del arreglo, indicando el porcentaje que representan del total de silbidos analizados, que fue de 946. A = número de adjudicaciones realizadas cuando ambos delfines no estaban ubicados del mismo lado del estanque, es decir, uno en el lado derecho y otro en el lado izquierdo; B = número de adjudicaciones realizadas cuando los delfines estaban ubicados del mismo lado del estanque, es decir, ambos en el lado derecho o en el lado izquierdo.

Delfín		Distancia entre hidrófonos				Silbidos	
		10 m	12 m	17 m	20 m		
1	A	14	4	1	43	62	185
	B	19	2	5	97	123	
2	A	18	53	0	55	126	385
	B	48	22	0	189	259	
TOTAL		99	81	6	384	570	570 (60.3%)

Cuando no fue posible calcular la hipérbola o identificar al delfín silbante, se encontró que era posible utilizar pautas en el comportamiento del delfín que probablemente emitió el silbido para adjudicarle el silbido. Se utilizaron dos pautas en el comportamiento. En la primera pauta, se supuso que cuando un silbido sólo había sido registrado en uno de los canales (Fig. 2.24A), si un delfín se encontraba cerca del hidrófono que registró el silbido y el otro delfín se encontraba cerca del hidrófono que no registró el silbido, entonces el delfín que emitió el silbido debía ser el delfín más cercano al hidrófono del canal donde se registró el silbido (Crance, 2008). En la segunda pauta, se supuso que el silbido había sido emitido por el delfín que realizó el comportamiento llamado “observación” (Fig. 2.24B) al mismo tiempo que se emitió el silbido. Para confirmar si estos silbidos adjudicados utilizando pautas en el comportamiento fueron en realidad emitidos por el delfín que se supuso, se calculó la estereotipia de dichos silbidos para cada individuo (Deecke & Janik, 2006), como se muestra en el capítulo III de este trabajo (sección III.2.3.5). Entonces, 146 silbidos fueron adjudicados a uno de los dos delfines utilizando pautas de comportamiento (Tabla 2.11) para obtener un total de 716 silbidos adjudicados a los delfines el delfinario 1: “Six Flags” y

CAPÍTULO II RESULTADOS DE LOCALIZACIÓN E IDENTIFICACIÓN DEL EMISOR

que conformaron la base de datos de silbidos adjudicados utilizada en los capítulos III y IV. Los 230 silbidos que no pudieron ser adjudicados al delfín silbador son la base de datos de silbidos no adjudicados también utilizada en los capítulos III y IV. Estos resultados representan una eficiencia de 0.76 para el método acústico-visual-etológico combinado desarrollado en el presente trabajo para localizar la fuente sonora en el delfinario 1: “Six Flags”.

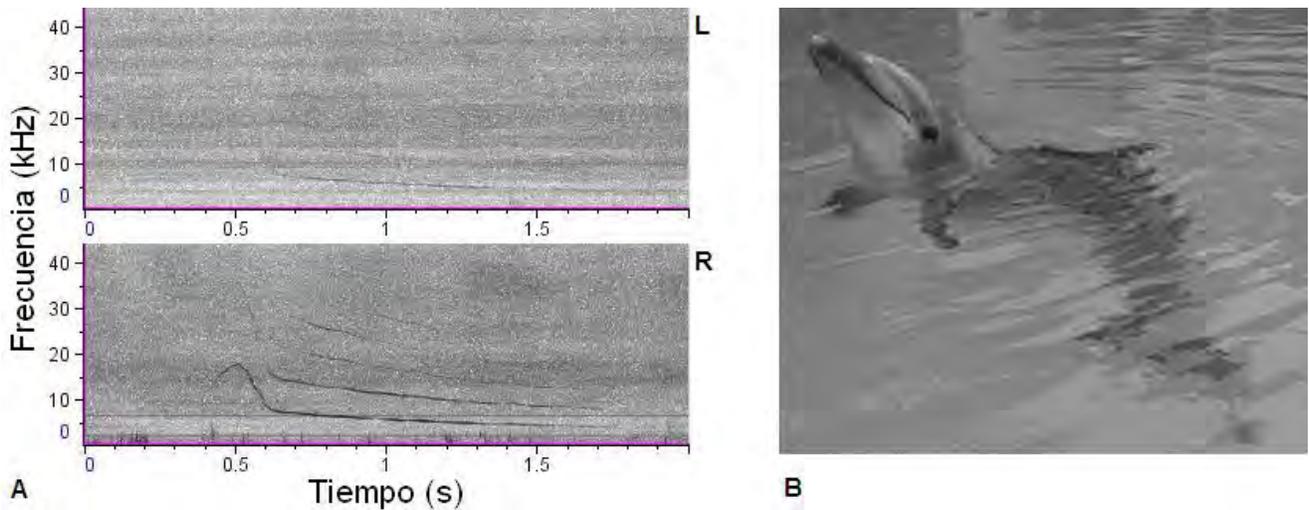


Figura 2.24. Pautas en el comportamiento utilizadas para identificar al delfín silbador: (A) Espectrograma de un silbido recibido en un solo canal. El delfín silbador podría ser aquel más cercano al hidrófono que captó el silbido (el canal R). (B) Fotografía de un delfín realizando el comportamiento denominado “observación”. El delfín silbador podría ser aquel que realizó este comportamiento al mismo tiempo que se emitió el silbido.

Tabla 2.11. Número de silbidos adjudicados al delfín silbante en el delfinario 1: “Six Flags”, indicando el método mediante el cual fueron adjudicados. Los porcentajes son con respecto al total de silbidos analizados, que fue de 946.

Delfín	Método acústico-visual	Método por pautas en el comportamiento				SUBTOTAL	TOTAL
		Distancia entre hidrófonos					
		10 m	12 m	17 m	20 m		
1	185 (19.6%)	0	0	3	2	5 (0.5%)	190 (20.1%)
2	385 (40.7%)	10	25	2	104	141 (14.9%)	526 (55.6%)
TOTAL	570 (60.3%)	10	25	5	106	146 (15.4%)	716 (75.7%)

II.3.1. Delfinario 2: “Atlantis”

La recolección de datos en el delfinario 2: “Atlantis” se llevó a cabo durante 24 días entre el 9 de abril de 2007 y el 4 de enero de 2008 (Tabla 2.12). El esfuerzo de muestreo dependió de la autorización del parque para realizar este trabajo, ya que no en todos los días de “descanso” fue posible realizar la recolección de datos. De los días en que se recolectaron datos, en 3 no se grabaron silbidos (12.5% de los días de muestreo; Tabla 2.12), por lo que únicamente se consideraron 21 días de muestreo durante los cuales se grabaron 1842 minutos con silbidos (30.7 horas) y en los que se tuvieron 4490 silbidos para tratar de calcular la ubicación de la fuente en el delfinario 2: “Atlantis”.

Debido a que el número de silbidos obtenidos en el delfinario 2: “Atlantis” era cuatro veces mayor que el obtenido en el delfinario 1: “Six Flags”, se procedió a auscultar los datos para ver qué silbidos fueron emitidos en situaciones donde los delfines estuvieran lo suficientemente separados para garantizar que se pudiera adjudicar el silbido al delfín que lo emitió. Se encontró que únicamente 177 silbidos (3.9% del total de los silbidos) podrían ser utilizados para determinar la posible localización de la fuente y delfín emisor, ya que los delfines pasaban la mayor parte del tiempo nadando uno arriba del otro (aproximadamente el 86% del tiempo), lo cual impedía la adjudicación del silbido al delfín que lo produjo, aunque se lograra la localización de la fuente con el método acústico-visual utilizado. Además, se encontró que parte de estos 177 silbidos estaban traslapados porque los delfines en el delfinario 2: “Atlantis” solían silbar simultáneamente, lo que redujo el número de silbidos a analizar a menos del 3%, lo cual no sería representativo del repertorio de un individuo.

Entonces, se decidió no realizar ningún esfuerzo para determinar cuál era el delfín silbante en el delfinario 2: “Atlantis” y considerar como la base de datos de silbidos adjudicados al delfín que lo produjo en el delfinario 2: “Atlantis” únicamente los 733 silbidos que se grabaron durante el 12 de noviembre de 2007 cuando el delfín 3 se encontraba solo (16.3% del total de los silbidos; Tabla 2.12). Cabe mencionar que este número de silbidos es mayor al número de silbidos adjudicados por individuo en el delfinario 1: “Six Flags”.

Tabla 2.12. Esfuerzo de muestreo en el delfinario 2: "Atlantis", mostrando los días durante los que se tomaron datos, el tiempo de grabación y el número de silbidos obtenidos.

# de día de muestreo	fecha	tiempo de grabación (min)	número de minutos grabados con silbidos	número de silbidos grabados
1	09-Abr-07	97.1	48	140
2	16-Abr-07	119.2	71	227
3	23-Abr-07	87.4	59	207
4	30-Abr-07	68.9	14	30
5	07-May-07	55.2	0	0
6	14-May-07	44.6	10	12
7	21-May-07	88.3	27	87
8	25-May-07	60.0	42	104
9	02-Jul-07	89.0	0	0
10	09-Jul-07	63.0	48	165
11	16-Jul-07	64.0	17	29
12	30-Jul-07	88.3	59	122
13	06-Ago-07	88.4	63	194
14	13-Ago-07	64.2	24	58
15	20-Ago-07	83.4	38	105
16	27-Ago-07	77.0	30	58
17	03-Sep-07	66.0	20	36
18	17-Sep-07	322.2	101	184
19	24-Sep-07	89.7	137	135
20	01-Oct-07	1365.0	111	455
21	15-Oct-07	33.3	23	106
22	29-Oct-07	60.0	0	0
23	12-Nov-07	152.0	124	721
24	04-Ene-08	106.0	106	1187
TOTAL		3432	1172	4362
PROMEDIO		143.0	48.8	181.8
DESVIACIÓN ESTÁNDAR		266.1	40.7	267.0
MAXIMO		1365.0	137	1187
MINIMO		33.3	0	0

II.4. Discusión

A diferencia de otros estudios que han realizado localización de fuentes sonoras (p. ej., Tyack, 1986; Thomas *et al.*, 2002), en el presente trabajo se empleó un método simple utilizando equipo accesible a cualquier investigador: un arreglo de dos hidrófonos usando una grabadora digital con dos canales grabando a diferentes distancias entre receptores, equipo de cómputo sencillo y programas de cómputo de uso común y de bajo costo. Se empleó el método de las hipérbolas para realizar la localización de la fuente sonora, combinándolo con la obtención de la ubicación de los animales utilizando videograbaciones: método acústico-visual combinado. El arreglo de dos receptores, siendo el más simple, resulta muy eficiente en los estudios realizados con otras especies en vida libre para ubicar las fuentes sonoras del entorno al considerar los dos oídos humanos como receptores y es el empleado, por ejemplo, en estudios de aves (Payne, 1971; Witten *et al.* 2006) y mamíferos (Knudsen *et al.*, 1991; Malone *et al.*, 2002).

Para el delfinario 1: “Six Flags” se analizaron 946 silbidos de dos delfines empleando este método acústico-visual y se obtuvo una eficiencia de localización de la fuente sonora de 0.73. Al calcular la localización de la fuente, no fue posible localizarla para 256 silbidos del delfinario 1 (27%, Tablas 2.6, 2.7) debido a que los silbidos se grabaron muy atenuados (en un solo canal o sólo parte del contorno: 4 silbidos), traslapados con otros sonidos (52 silbidos), uno o ningún delfín se encontraba en la toma de la videocámara (40 silbidos), ningún delfín se ubicaba sobre la hipérbola calculada (138 silbidos) o el delfín que estaba sobre la hipérbola calculada no era el delfín silbador (22 silbidos).

Los delfines emiten sus silbidos con diferente intensidad (Thomas *et al.*, 2002; Crance, 2008), simultáneamente con otros sonidos (Markov & Ostrovskaya, 1990; Harley, 2008) o al mismo tiempo que otros individuos (McCowan & Reiss, 1995; McCowan *et al.*, 1999). En casi todas las ocasiones cuando los silbidos se grabaron muy atenuados en el delfinario 1: “Six Flags”, fue posible realizar el cálculo del tiempo de retraso, más no para los silbidos traslapados con otros sonidos. El poder calcular el tiempo de retraso de los silbidos traslapados con otros sonidos implica el desarrollo de técnicas de procesamiento digital de señales especializadas que harían del método combinado acústico-visual una tecnología

más compleja que, aunque ayudaría a lograr un repertorio individual completo, implica un mayor esfuerzo para obtener una ganancia mínima en la eficiencia de localización de la fuente sonora.

El que uno o ningún delfín se encontrara en la toma de las videocámaras del delfinario 1: “Six Flags” fue resultado de la posición en que se pudieron poner las videocámaras, teniendo únicamente vistas aéreas. El poder colocar una cámara subacuática probablemente resolvería este problema (p. ej., McCowan & Reiss, 1995; Herzing, 2005) y el número de silbidos que no se podrían localizar y/o adjudicar disminuiría considerablemente. Sin embargo, en este estudio no fue posible realizar tomas de video subacuáticas.

Cuando ningún delfín del delfinario 1: “Six Flags” se ubicaba sobre la hipérbola calculada o el delfín que estaba en esa posición no era el delfín silbador significó que el tiempo de retraso obtenido no fue el correcto y/o el valor de la velocidad de propagación del sonido no fue constante. Es decir, o los programas de cómputo Canary© y/o Raven© no calcularon correctamente el tiempo de retraso y/o existió estratificación del agua en los estanques del delfinario 1: “Six Flags” que impidieron un cálculo adecuado de la ecuación de la hipérbola. Es importante mencionar que siempre se cuidó que la distancia entre hidrófonos en los estanques del delfinario 1: “Six Flags” fuera la misma (i.e., 20 m, 17 m, 12 m o 10 m). El determinar las posibles razones por las que los programas de cómputo no calcularon correctamente el tiempo de retraso fue difícil de valorar. Es posible que efectos debidos a la reverberación y otras reflexiones fueron los responsables del error en el cálculo del tiempo de retraso. Por ejemplo, cuando los silbidos presentaban reflexiones como la mostrada en la Fig. 2.13, el valor del tiempo de retraso calculado era de cero, cuando evidentemente tenía un valor mayor. Además, 93 de los 138 silbidos cuya fuente no pudo ser localizada (68.1%) fueron grabados el mismo día, el 13 de septiembre de 2007, mostrando que las características ambientales del estanque durante ese día (p. ej., temperatura, salinidad, estratificación y/o reverberación, entre otras) resultaron en anomalías en la transmisión del sonido que no se presentaron en otros días.

Cuando se compararon los resultados de localización de la fuente sonora obtenidos para las diferentes distancias entre hidrófonos en el delfinario 1: “Six Flags”, no existió un patrón

bien definido y se encontró que la eficiencia de un arreglo fue inversamente proporcional a la distancia entre hidrófonos. La resolución de un arreglo teóricamente aumenta a mayor distancia entre hidrófonos (Cato, 1998), por lo que el tener una mayor eficiencia cuando la distancia entre receptores fue menor probablemente se deba a que los delfines del delfinario 1: “Six Flags” modificaron su comportamiento cuando fueron trasladados a un nuevo estanque (el estanque rectangular donde se emplearon distancias de 12 y 17m entre receptores), lo que facilitó la localización de la fuente sonora, y cuando regresaron al estanque principal (donde se emplearon distancias de 20m entre receptores), lo cual impidió la localización de la fuente sonora y se obtuvo una menor eficiencia.

La eficiencia de adjudicación, es decir, definir qué delfín emitió el silbido, fue de 0.60 en el delfinario 1: “Six Flags”. La disminución en la eficiencia de adjudicación con respecto a la de localización estuvo dada por los casos en que ambos delfines se ubicaron en la hipérbola que describía la localización de la fuente sonora o sólo un delfín se ubicó en la hipérbola que describía la localización de la fuente sonora y el otro no estaba en la toma de la videograbación. Es posible que la ubicación de los delfines en el mismo lado del estanque no contribuyó a la disminución en la eficiencia de adjudicación, sino el que los delfines estuvieran fijos en un lugar, ya que el 67.0% de los silbidos adjudicados correctamente al delfín silbante fueron de delfines ubicados en el mismo lado del estanque (Tabla 2.8, 2.10), que en ocasiones correspondía a estar un delfín junto al otro, pero no ambos sobre la hipérbola calculada.

En el delfinario 2: “Atlantis” los delfines nadaban constantemente (86% del tiempo) lado a lado, muy cerca o uno arriba del otro, lo cual impedía la adjudicación de los silbidos. Además, era muy común que silbaran al mismo tiempo (silbidos traslapados). En el delfinario 1: “Six Flags” los delfines silbaron muy poco y casi nunca al mismo tiempo o alternando su emisión de silbidos. Esto ayudó a que la eficiencia de localización de la fuente sonora fuera tan alta para el delfinario 1: “Six Flags”. Por ello, con el fin de aumentar la eficiencia en la adjudicación del delfín silbador en ambos delfinarios cuando los delfines nadan uno arriba del otro, podría agregarse un tercer hidrófono a diferente profundidad para resolver la ubicación de la fuente en el plano vertical sin tener demasiados problemas adicionales en los cálculos matemáticos. Sin embargo, también sería necesario colocar una

tercera videocámara, que debe obtener una toma subacuática, para poder identificar a los delfines cuando nadan uno arriba del otro. Además, para las ocasiones en que los delfines nadan junto a la pared donde se encuentra el arreglo de hidrófonos, también sería necesario colocar una videocámara adicional ubicada al frente de donde se colocaron las otras dos. Estas dos acciones podrían aumentar la eficiencia de adjudicación en casi un 20%. En el presente estudio no se pudieron implementar estas acciones debido a restricciones técnicas.

Cuando se consideraron pautas conductuales (Fig. 2.25), la eficiencia de adjudicación se incrementó en 0.16, a 0.76 (142 silbidos más). Esto sucedía porque los delfines emitían un tipo de silbido asociado al comportamiento denominado “observación” (97.3% de los silbidos adjudicados por pautas conductuales). El uso de otro tipo de pautas para identificar al delfín silbador y aumentar la eficiencia de la adjudicación también ha sido usado por otros estudios. Tyack (1986) incrementó el número de silbidos adjudicados en 32 (6.4% de sus silbidos estudiados) usando silbidos audibles en aire. Por ello, no sólo es importante utilizar la tecnología disponible para la adjudicación de los silbidos al delfín que lo produjo, sino también invertir tiempo en la observación de los individuos estudiados para poder definir qué pautas conductuales pueden ser empleadas en esta adjudicación. Pautas como silbidos audibles en aire, cuál era el delfín más cercano al hidrófono que captaba el silbido con mayor intensidad y qué delfín realizaba el comportamiento denominado “observación” son algunas de ellas.

En resumen, los resultados de este trabajo muestran que el método combinado de grabación de audio y video puede ser usado para identificar al delfín fonador con una eficiencia de 0.603 para dos posibles individuos con una N=946 y, si además se emplean pautas conductuales, se alcanza una eficiencia de 0.757. Otros sistemas más sofisticados en presencia de individuos en cautiverio obtuvieron una eficiencia de 0.387 con N=222 fonaciones para ocho delfines (Thomas *et al.* 2002) y 0.571 con N=497 silbidos para dos delfines (Tyack 1986).

II.5. Conclusiones

Los resultados obtenidos muestran que este método simple y económico puede obtener un número razonable de adjudicaciones de silbidos cuando hay dos delfines presentes. Este método se puede aplicar en otros acuarios alrededor del mundo que alberguen pocos delfines (no más de tres animales) y obtener una base de datos más amplia y representativa de los silbidos de los delfines, que se han considerado como un “lenguaje no humano”. Sin embargo, su eficiencia en otros estanques dependerá de qué tan frecuentemente los delfines se encuentren cerca uno del otro, de las condiciones de reverberación y la reflexión acústica del estanque y de la homogeneidad del agua.

El estudio de animales en cautiverio está encaminado a extrapolar el conocimiento adquirido a poblaciones silvestres, con el entendimiento de que las condiciones en cautiverio pueden modificar sustancialmente las respuestas de estos animales. Claramente, este método acústico-visual combinado utilizado para obtener una base de datos de silbidos por delfín puede no ser aplicable a la mayoría de las condiciones de los estudios de campo (p. ej., Quick *et al.* 2008). Sin embargo, la habilidad de obtener repertorios individuales de delfines en cautiverio puede ser usado para obtener patrones de silbidos empleados en situaciones específicas. Si estos silbidos son producidos por delfines silvestres, y es posible determinar la actividad general que realizan, puede ser posible sugerir que los delfines en cautiverio y en vida libre están usando silbidos con el mismo propósito. Por lo que los resultados obtenidos en delfines cautivos pueden dar pauta para saber cómo los delfines silvestres están usando el sonido.

Capítulo III. ANÁLISIS DE LOS SILBIDOS DE *Tursiops truncatus* EN CAUTIVERIO

El tercer objetivo particular de este trabajo era describir el repertorio de los silbidos de cada individuo en cautiverio nadando libremente y el cuarto objetivo particular era analizar la variabilidad acústica intra e interindividual de los silbidos de los delfines estudiados en cada delfinario. En este capítulo se presenta el análisis de los silbidos grabados en los delfinarios 1: “Six Flags” y 2: “Atlantis”.

III.1. Introducción

Los silbidos son las vocalizaciones más variables de los delfines, por lo que se menciona que los emplean para comunicarse y se han llegado a considerar como un lenguaje no humano (Dreher, 1961). Se ha definido que el repertorio de silbidos de los delfines consiste en tipos de silbidos o contornos muy variables y otros que mantienen su estructura muy estable, es decir, son silbidos estereotipados.

Estudiando al delfín *Tursiops truncatus* en cautiverio, se planteó la hipótesis del “silbido firma”, que sugiere que cada delfín produce silbidos estereotipados específicos para ese individuo que le dan su identidad acústica (Caldwell & Caldwell, 1965; Caldwell *et al.*, 1990; Tyack, 2000), como se explicó en la sección I.4. A estos silbidos estereotipados son a los que se les ha atribuido un significado biológico (Tyack, 2002), como ser usados como llamadas de cohesión (Ralston & Herman, 1989; Janik & Slater, 1998; Tyack, 2000) o de estrés (Herzing, 2005). Sin embargo, a la fecha existe una controversia de si estos silbidos realmente son específicos de cada individuo (e.g., Sayigh *et al.*, 1990; Janik *et al.*, 1994; Janik y Slater, 1998; Janik, 1999; Sayigh *et al.*, 2007 vs. McCowan, 1995; McCowan & Reiss, 1995^a; McCowan & Reiss, 1995^b; McCowan *et al.*, 1998; McCowan *et al.*, 1999; McCowan & Reiss, 2001; McCowan *et al.*, 2002) porque algunos individuos producen los silbidos firma de otros individuos (i.e., copiado de silbidos firma, Tyack, 1986), porque existen silbidos usados por todos los miembros de la misma manada (McCowan & Reiss, 1995a; Janik, 2009), porque las crías tienden a emitir silbidos semejantes al firma de su madre (Sayigh *et al.*, 1990) y porque el determinar el repertorio de silbidos depende del método de clasificación (Janik, 1999). En otras especies, las emisiones estereotípicas se

usan como llamadas de alerta (Blumstein & Munos, 2005) o de miedo o alarma (Soltis, 2009).

Para determinar el repertorio de silbidos, cada tipo de silbido o contorno se caracteriza al observar su variabilidad de la frecuencia en el tiempo (Fig. 3.1, Dreher, 1961; Evans & Prescott, 1962; Herman & Tavolga, 1980; Bazúa-Durán & Au, 2002) y luego se clasifica. Si esta clasificación se hace de forma automatizada con una computadora, se calculan porcentajes de similitud entre silbidos (Deecke & Janik, 2006). Por ejemplo, Itakura (1975) propuso un algoritmo de flexibilidad dinámica en el tiempo (*dynamic time-warping* en inglés) que varía la temporalidad del cambio en la frecuencia y permite medir la similitud de distintos silbidos. Deeke & Janik (2006) emplearon este algoritmo y clasificaron los silbidos mediante una red neuronal. Este método de clasificación permite establecer categorías objetivas con un porcentaje de similitud establecido, haciéndolas comparables y repetibles. La clasificación de los silbidos para determinar el tamaño del repertorio cuando es realizada por los humanos implica subjetividad, ya que depende de la percepción (Janik, 1999).

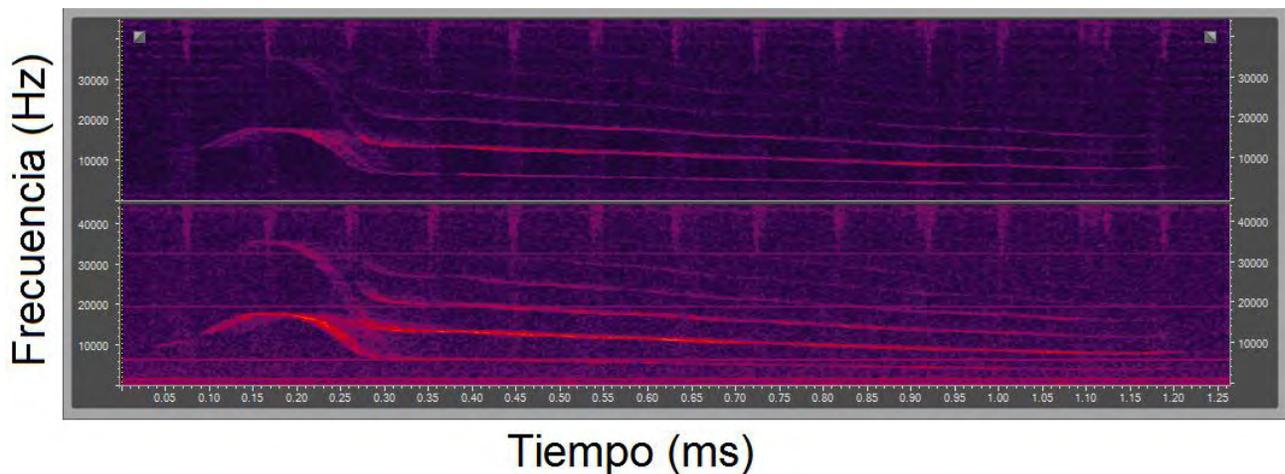


Figura 3.1. Espectrograma de un silbido de *Tursiops truncatus* en cautiverio del delfinario 1: “Six Flags” grabado en dos canales a una tasa de muestreo de 96 kHz y 16 bits con una grabadora M-Audio modelo Microtrack 24/96©.

III.2. Metodología

Se grabaron los silbidos de cinco delfines que fueron mantenidos en dos diferentes acuarios en la Ciudad de México, que están aislados geográfica y acústicamente, como se describe en la sección I.6, y que fueron un macho (delfín 1) y una hembra (delfín 2) adultos en el delfinario 1: “Six Flags” y una hembra adulta (delfín 4) y dos juveniles, una hembra (delfín 3) y un macho (delfín 5), en el delfinario 2: “Atlantis”.

Cuando los delfines nadaban libremente se realizaron las grabaciones acústicas de manera digital utilizando un sistema de dos canales de audio como se describe en la sección II.2.1.4. De estas grabaciones acústicas se obtuvieron varias bases de datos para realizar el análisis de los silbidos de *Tursiops truncatus* en cautiverio, como se describe a continuación.

III.2.1. Selección de silbidos

Las grabaciones se analizaron con la ayuda de los programas de cómputo Adobe Audition© versión 1.5 y Raven© 1.3. Estos programas realizan la Transformada de Fourier en tiempo corto utilizando distintos algoritmos (e.g., la Transformada Rápida de Fourier o FFT, por sus siglas en inglés; Beecher, 1982), lo cual permite extraer la información espectral de las señales (Kay, 1988) y obtener el espectrograma (Fig. 3.1), una representación del cambio en la frecuencia y amplitud de las señales acústicas en el tiempo.

Usando el programa de cómputo Adobe Audition© versión 1.5 se generaron los espectrogramas de las grabaciones utilizando 512 puntos y una ventana Hamming para identificar cada contorno del silbido (Dreher, 1961) usando ventanas de 3 s de duración por 44 o 48 kHz de ancho de banda para siempre tener la misma resolución temporal y espectral al seleccionar los silbidos a analizar (Fig. 3.2A). Cuando se encontraron silbidos consecutivos, éstos se consideraron diferentes silbidos cuando estaban separados más de 200ms o bien por una duración mayor a la de ambos silbidos (Bazúa-Durán & Au, 2002). También se consideraron distintos silbidos cuando la diferencia en la frecuencia final del primero y la inicial del segundo fue mayor de 3 kHz o cuando la intensidad de uno era de al menos el doble de la del otro (Bazúa-Durán & Au, 2002).

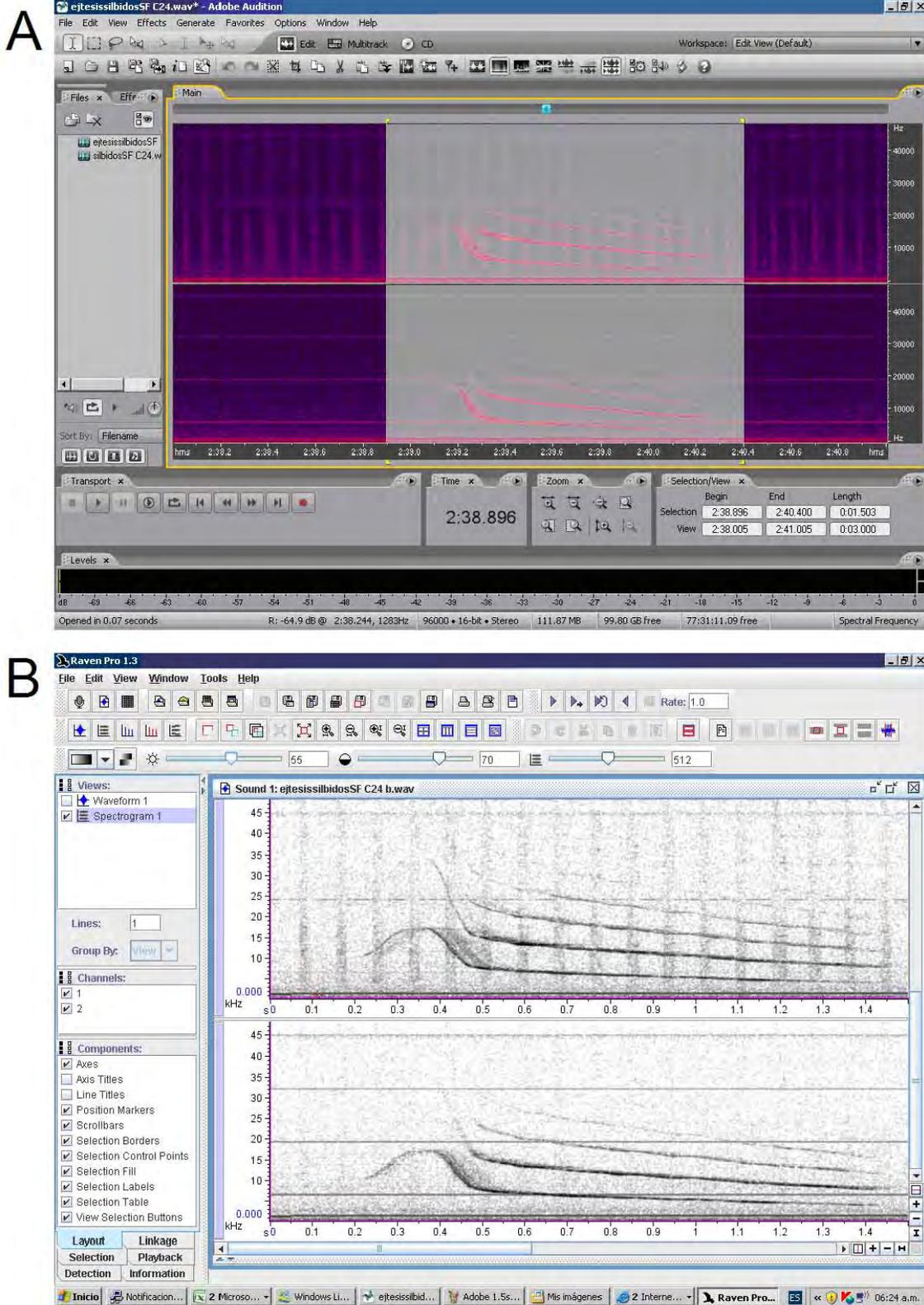


Figura 3.2. Espectrograma de un silbido de *Tursiops truncatus* en cautiverio del delfinario 1: “Six Flags” obtenido con los programas de cómputo (A) Adobe Audition© versión 1.5 y (B) Raven versión 1.3. El cuadro gris en (A) muestra la selección usada en (B). Es el mismo silbido de la Figura 3.1.

Cada silbido seleccionado se guardaba en dos canales en un archivo de sonido con formato *.wav con una duración de al menos 1.5 s. Cuando se encontraba un silbido de mayor duración, se consideraban 0.1 s previos y 0.1 s posteriores al silbido para guardar el archivo de un silbido de duración mayor a 1.5 s. Estos archivos *.wav fueron verificados utilizando el programa de cómputo Raven© 1.3 al generar los espectrogramas utilizando 512 puntos, una ventana Hamming y un 50% de traslape entre ventanas (Fig. 3.2B).

Todos los silbidos contenidos en los archivos *.wav verificados corresponden a la base de datos del total de silbidos grabados y fueron utilizados tanto para calcular la ocurrencia de silbidos como para caracterizar el repertorio de silbidos. Como las grabaciones se realizaron simultáneamente en dos canales, se consideró el silbido del canal que tuviera la señal con mayor intensidad y/o menor reverberación, es decir, el que era de mejor calidad. Además, para caracterizar el repertorio de silbidos se consideraron únicamente los silbidos que fueran de buena calidad, es decir, que tuvieran una buena relación señal-ruido, claridad en su contorno (particularmente al inicio y al final) y no estuvieran cortados por el método de grabación (Bazúa-Durán & Au, 2002).

III.2.2. Ocurrencia de silbidos

Para calcular la ocurrencia o tasa de emisión de silbidos se consideraron dos tiempos de grabación, el tiempo total de grabación y el número de minutos con silbidos. El número de minutos con silbidos se calculó al dividir las grabaciones en minutos consecutivos comenzando en el inicio de cada grabación y terminando al final de cada grabación, considerando únicamente los minutos en los que ocurría al menos un silbido. Como las grabaciones no fueron de minutos exactos, el tiempo remanente al final se consideraba como parte del último minuto si su duración era menor a 30 s y, si el tiempo remanente era de más de 30 s, se consideraba como un nuevo minuto. Entonces, se calculó una tasa de emisión de silbidos como el número de silbidos emitidos durante el tiempo total de grabación, es decir, el número de silbidos por minuto grabado, y se calculó otra tasa de emisión de silbidos como el número de silbidos emitidos durante cada minuto con silbidos, por lo que se obtuvo un valor de número de silbidos por minuto con silbidos.

CAPÍTULO III METODOLOGÍA: CARACTERIZACIÓN DEL REPERTORIO DE SILBIDOS

Posteriormente, se procedió a comparar estas dos tasas de emisión para conocer la distribución de los silbidos en el tiempo. Si ambas tasas de emisión eran semejantes, esto implicaba una distribución homogénea de los silbidos en el tiempo y se podría usar cualquiera de las dos tasas para realizar las comparaciones deseadas. De lo contrario, si eran diferentes, esto denotaba que los silbidos fueron emitidos en mayor proporción a cierto tiempo. Entonces, para realizar las comparaciones deseadas sería necesario dividir las grabaciones en minutos consecutivos sin importar si había o no emisión de silbidos. Así, se obtendría un valor de número de silbidos por cada minuto.

Las tasas de emisión calculadas se utilizaron para investigar si la ocurrencia de silbidos cambiaba ante las diferentes situaciones a las que fueron expuestos los delfines en ambos delfinarios (i. e., cambio de estanque en el delfinario 1: “Six Flags” y cambio de compañero en el delfinario 2: “Atlantis”). Se calculó la cantidad de minutos en los que se habían registrado 0, 1, 2 y, así, sucesivamente, N silbidos para construir una tabla de ocurrencia y poder aplicar una prueba de χ^2 (Zar, 1999) que indicara si la tasa de emisión de silbidos cambiaba en las diferentes situaciones.

Por último, se determinó si existía relación entre la ocurrencia de silbidos y las características fisicoquímicas del agua del estanque (i.e., temperatura y salinidad) al graficar los valores de la tasa de emisión y de las características fisicoquímicas de acuerdo al día muestreado.

III.2.3. Caracterización del repertorio de silbidos

La caracterización del repertorio de silbidos consistió en clasificar el contorno de cada silbido para obtener el tamaño del repertorio, para determinar cómo los delfines usaron este repertorio y para establecer qué tan estereotípicos eran los silbidos.

III.2.3.1. Clasificación de los contornos de los silbidos

El total de los silbidos grabados se clasificaron visualmente con base en su contorno (Dreher, 1961), es decir, utilizando el espectrograma que describe la modulación de la frecuencia del silbido en el tiempo de acuerdo al criterio del observador. Esta clasificación se denominó “manual”. La nomenclatura de la clasificación manual se basó en líneas o

CAPÍTULO III METODOLOGÍA: CARACTERIZACIÓN DEL REPERTORIO DE SILBIDOS

curvas observadas en el espectrograma para generar un código usando letras que se combinaron para describir la forma del contorno del silbido analizado. Se utilizaron las letras “C” o “c” para una frecuencia constante, “Cx” o “cx” para una frecuencia que incrementa primero y luego decrece (o contorno convexo), “Cv” o “cv” para una frecuencia que decrece primero y luego incrementa (o contorno cóncavo), “As” o “as” para una frecuencia que incrementa (o contorno ascendente), “De” o “de” para una frecuencia que decrece (o contorno descendente) y “Sin” o “sin” para los silbidos cuya modulación en frecuencia combinaba varios de los términos antes descritos (contorno sinusoidal o múltiple, p. ej., Cxcv). Además de estos seis códigos de letras, también se usó la letra “r” para describir una modulación lineal en la frecuencia, las letras “ir” para describir una modulación en la frecuencia no lineal, la letra “b” para los silbidos breves con una duración menor a 0.2 s pero mayor a 0.05 s, la palabra “corto” para un silbido de menor duración que otro con el mismo contorno, la letra “l” o la palabra “largo” para un silbido de mayor duración que otro con el mismo contorno, la letra “e” para los silbidos que estaban escalonados, es decir, que tenían un cambio abrupto en la modulación de la frecuencia, la letra “z” para los silbidos que tenían una modulación de la frecuencia vertical en forma de z, la letra “w” para los silbidos que tenían una modulación de la frecuencia vertical en forma de w, la letra “s” para los silbidos que tenían una modulación de la frecuencia vertical en forma de s, la letra “x” para los silbidos ascendentes cuya modulación tendía a ser convexa, la letra “v” para los silbidos ascendentes cuya modulación tendía a ser cóncava y la letra “P” o “p” para un silbido que era muy corto (de 0.05 s de duración o menos) y para el que no era posible apreciar su modulación en la frecuencia. Se usaron letras en mayúscula (aparte de la del principio del código) para describir que existía un pequeño silencio entre las dos partes del silbido que se codificaban con distintas letras, la anterior y la que codificaba la letra en mayúscula o las letras “in” para interrumpido, cuando el silencio estaba entre dos partes del silbido con el mismo contorno. Finalmente, se utilizaron números acompañados de la letra “r” o la letra “x” después de algunas letras para indicar el número de veces que aparecía esta parte del silbido que se estaba codificando (p. ej., Ccxc2r para un silbido que consistía del patrón Ccxc uno después del otro de manera continua) o el número de veces que el mismo contorno se repetía en series separados por un silencio menor a 0.02 s (p. ej., 2x para una serie de dos contornos). Cabe mencionar que si la letra “r” aparecía sin ser antecedida por un número o

CAPÍTULO III METODOLOGÍA: CARACTERIZACIÓN DEL REPERTORIO DE SILBIDOS

por la letra “i” indicaba que el silbido tenía una modulación lineal en la frecuencia. Entonces, cuando el silbido era sencillo (p. ej., constante o convexo), únicamente se utilizaron una o dos letras. Cuando el silbido era más complejo (p. ej., múltiple) se utilizaron varias letras, las cuales se ordenaron tomando como referencia el inicio del silbido, y se ordenaron como aparecía en el espectrograma la modulación de la frecuencia que codificaban. Por ejemplo, un silbido cuya frecuencia primero asciende, luego desciende y finalmente se mantiene constante sería un silbido de tipo Cxc o convexo-constante (Tabla 3.1).

Tabla 3.1. Nomenclatura de la clasificación manual de los silbidos que se basó en líneas o curvas observadas en el espectrograma de la modulación en la frecuencia del silbido para generar un código usando letras que se combinaron para describir la forma del contorno del silbido analizado. Se muestran las 60 categorías de silbidos encontrados para el delfinario 1: “Six Flags” utilizando la clasificación manual.

Tipo de categoría	Categorías o tipos de silbidos						# categorías
Constante	C	Cas	Cir	CI	Ccorto	Cb	6
Convexo	Cx	Cxde	AsDe	Cxb	Cxir	Cxl	6
Cóncavo	Cv	Cvb	Cvir				3
Ascendente	As	Asr	Asp	Asv	Asx	Asir	6
Descendente	De	Deir	Del	Deb			4
Múltiple	Cde	CasI	Cdec	Cxc	Cxce	Cxccorto	35
	Cxcv	Cx2r	CxasCvcx	Cxcir	Cx2ras	Cx2rasx	
	Cx3r	Cxcb	Cxasir	Cxccx	Cxcde	Cxceas	
	Cxcecx	Cxdasx	Cxdecir	Cxdecx	Cvcx	Cv2rAs	
	Cv2r	Cvccvcde	CvDe	Cvde	Asc	AsCAsir	
	AsCvas	Asxccx	Dec	Deciras	P		
TOTAL							60

Los silbidos también se clasificaron considerando únicamente los silbidos que fueran de buena calidad. Esta clasificación se hizo de manera automatizada utilizando una subrutina de programación en lenguaje Matlab que emplea una red neuronal (Deecke *et al.*, 1999; Deeke & Janik, 2006) que incorpora el algoritmo de flexibilidad dinámica en el tiempo (*dynamic time-warping* en inglés; Itakura, 1975). Esta subrutina clasifica los distintos contornos en tipos de acuerdo a una medida de similitud (ver Apéndice 1). Se empleó un porcentaje de similitud del 90%, analizando por separado cada tipo de

CAPÍTULO III METODOLOGÍA: CARACTERIZACIÓN DEL REPERTORIO DE SILBIDOS

categoría de silbido (i.e., constante, convexo, cóncavo, ascendente, descendente y varias categorías de múltiples), ya que esta subrutina no soportaba una base de datos mayor a 100 silbidos cuando éstos eran de contorno muy diferente (i.e., muy diversos tipos) (Tabla 3.2). Cuando los silbidos eran de contorno semejante (p. ej., con una similitud del 96% entre los silbidos) se pudieron clasificar alrededor de 500 silbidos simultáneamente.

Una vez que se habían clasificado los silbidos en tipos utilizando tanto las clasificaciones manual como automatizada se procedió a agrupar los diversos tipos en categorías más generales para observar tendencias en el repertorio. Estas categorías fijas fueron: convexo, cóncavo, constante, ascendente, descendente y múltiple (Bazúa-Durán & Au, 2002).

Tabla 3.2. Nomenclatura de la clasificación automática de los silbidos utilizando una subrutina de programación en lenguaje Matlab. Se muestran las 121 categorías o tipos de silbidos encontrados para el delfinario 1: "Six Flags" utilizando la clasificación automatizada.

Tipo de categoría	Categorías o tipos de silbidos							# categorías
Constante	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	20
	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14	
	C15	C16	C17	C18	C19	C20		
Convexo	Cx1	Cx2	Cx3	Cx4	Cx5	Cx6	Cx7	15
	Cx8	Cx9	Cx10	Cx11	Cx12	Cx13	Cx14	
	Cx15							
Cóncavo	Cv1	Cv2	Cv3	Cv4	Cv5	Cv6	Cv7	7
Ascendente	As1	As2	As3	As4	As5	As6	As7	24
	As8	As9	As10	As11	As12	As13	As14	
	As15	As16	As17	As18	As19	As20	As21	
	As22	As23	As24					
Descendente	De1	De2	De3	De4	De5	De6	De7	13
	De8	De9	De10	De11	De12	De13		
Cxc	Cxc1	Cxc2						2
Cxccorto	Cxccorto1	Cxccorto2	Cxccorto3	Cxccorto4	Cxccorto5	Cxccorto6	Cxccorto7	9
	Cxccorto8	Cxccorto9						9
Cxc**	Cxc**1	Cxc**2	Cxc**3	Cxc**4	Cxc**5	Cxc**6	Cxc**7	9
	Cxc**8	Cxc**9						9
Múltiple	Mult1	Mult2	Mult3	Mult4	Mult5	Mult6	Mult7	22
	Mult8	Mult9	Mult10	Mult11	Mult12	Mult13	Mult14	
	Mult15	Mult16	Mult17	Mult18	Mult19	Mult20	Mult21	
	Mult22							
TOTAL								121

III.2.3.2. Tamaño del repertorio de silbidos

Una vez clasificados los contornos, se procedió a determinar el tamaño del repertorio. Se construyeron curvas acumulativas de silbidos nuevos vs. silbidos grabados para estimar la riqueza del repertorio de silbidos de manera análoga a la riqueza específica que se utiliza en ecología (Soberón & Llorente, 1993). Si esta curva acumulativa tenía a un valor asintótico, indicaba que el repertorio era finito y que la base de datos utilizada era representativa de los silbidos emitidos por los delfines estudiados. Si la curva acumulativa se mantenía con una pendiente positiva indicaba que el repertorio no era finito y que, o la base de datos utilizada no era representativa de los silbidos emitidos por los delfines, o los delfines no tenían un repertorio finito de silbidos. Así, se determinó el tamaño del repertorio de silbidos de manera manual y de manera automatizada para cada uno de los delfinarios y, para cada delfín, únicamente para los delfines 1 y 2 del delfinario 1: “Six Flags” y para el delfín 3 del delfinario 2: “Atlantis”, como se mencionó en el capítulo II.

Para determinar el tamaño del repertorio de silbidos de cada delfín en el delfinario 1: “Six Flags” se consideraron los 716 silbidos adjudicados del capítulo II con el método acústico-visual-etológico combinado (Tabla 2.11) y se incluyeron otros 344 silbidos que pudieron ser adjudicados porque o el delfín estaba solo en el estanque o los silbidos se escucharon en aire o eran silbidos con más de 91% de similitud (ver secciones III.2.3.5, III.3.5 y III.4.5) con silbidos que sí habían sido adjudicados con el método acústico-visual combinado. Para el delfín 1 se incluyeron 105 silbidos cuando éste se encontraba solo en el estanque rectangular y 16 silbidos que tuvieron una similitud de más de 91%. Para el delfín 2 se incluyeron 112 silbidos que se escucharon en aire y 111 silbidos que tuvieron una similitud de más de 91%. Entonces, el repertorio de silbidos del delfín 1 se construyó con 311 silbidos y el del delfín 2 con 749 silbidos.

Asimismo, se determinó si el repertorio de silbidos cambiaba ante las diferentes situaciones a las que fueron expuestos los delfines en ambos delfinarios (i. e., cambio de estanque en el delfinario 1: “Six Flags” y cambio de compañero en el delfinario 2: “Atlantis”).

III.2.3.3. Uso del repertorio de silbidos

El uso que los delfines le dieron al repertorio de silbidos grabado se cuantificó al contar el número de silbidos perteneciente a cada tipo de silbido de los repertorios tanto manual

CAPÍTULO III METODOLOGÍA: CARACTERIZACIÓN DEL REPERTORIO DE SILBIDOS como automatizado. Se describió el uso de los silbidos para cada delfinario, para cada individuo (únicamente para los delfines 1 y 2 del delfinario 1: “Six Flags” y para el delfín 3 del delfinario 2: “Atlantis”) y para cada situación a la que fueron expuestos los delfines en ambos delfinarios (i. e., cambio de estanque en el delfinario 1: “Six Flags” y cambio de compañero en el delfinario 2: “Atlantis”) calculando el porcentaje que representó cada uno de los distintos tipos de silbidos y generando un histograma de qué tanto se produjo cada tipo de silbido. Para determinar si el uso de los silbidos cambiaba ante las diferentes situaciones a las que fueron expuestos los delfines en ambos delfinarios y si cambiaba dependiendo del individuo que producía los silbidos se utilizó una prueba de X^2 (Zar, 1999).

III.2.3.4. Índice de riqueza del uso del repertorio de silbidos

Para describir el uso del repertorio de silbidos también se calculó un índice de riqueza basado en el índice de diversidad de Shannon (1948) y la equitabilidad, es decir, se aplicó la teoría de la información para evaluar la complejidad del repertorio (Mc Cowan *et al.*, 2002). Este índice es empleado en ecología para estimar la diversidad y fue originalmente propuesto para medir la cantidad de información que se puede codificar con un repertorio dado, es decir, la cantidad de información que se puede transmitir en un canal de comunicación con base en el número de símbolos disponibles para codificarla y la probabilidad con que se usa cada uno de ellos.

Por ejemplo, suponiendo que se tienen cinco símbolos o letras: A, B, C, D, E, los cuales son elegidos con una probabilidad de 0.2 cada uno y utilizando una probabilidad de eventos sucesivos independiente, se obtendría una secuencia como la siguiente:

BDCBCECCCADBDDAAEEEAADBBE.

Si los mismos símbolos se emplean con diferentes probabilidades, tales como 0.4, 0.1, 0.2, 0.2, 0.1, respectivamente, conservando una probabilidad de eventos sucesivos independiente, la secuencia obtenida sería como sigue:

AAACDCBDCEAADADACEDA.

Si la probabilidad de eventos sucesivos no fuera independiente, la secuencia tendría una estructura mucho más compleja.

CAPÍTULO III METODOLOGÍA: CARACTERIZACIÓN DEL REPERTORIO DE SILBIDOS

Esta estructura en una secuencia puede ser descrita por un conjunto de probabilidades de transición, es decir, qué probabilidad hay de que el símbolo A sea consecutivo al B o, de manera general, cuál es la probabilidad de predecir símbolos consecutivos. Entonces, se puede calcular el índice de diversidad o entropía de Shannon (1948), H' como:

$$H' = - \sum_{i=1}^S p_i \ln p_i$$

en la que i = cada símbolo distinto en el mensaje,

S = número total de símbolos,

$p_i = N_i/N$ y es la proporción del número de elementos del símbolo i en la secuencia del mensaje,

N_i = número de elementos del símbolo i en el mensaje y

N = número total de elementos en la secuencia del mensaje.

Para interpretar los resultados obtenidos, se establece un índice, $H_{\max} = \ln S$, que representa el máximo grado de complejidad para un número de símbolos dado, y una equitabilidad, $E = H' / H_{\max}$, que define qué tan bien distribuidos están los elementos en los diferentes símbolos. Entonces, H' sería máxima (H_{\max}) cuando la equitabilidad es igual a uno, es decir, cuando también es máxima y esto se traduce en que el número total de elementos en el mensaje están equitativamente distribuidos en cada tipo de símbolo. Conforme va disminuyendo el valor de H' , la distribución del número de elementos para cada símbolo se vuelve más heterogénea e implica que algunos símbolos en el mensaje son más abundantes que otros.

Para este estudio, el índice de diversidad de Shannon (1948) representa la complejidad del repertorio (también denominada nivel de diversidad), por lo que i es cada una de las categorías de silbidos del repertorio (cada uno de los tipos de silbidos), S es el tamaño del repertorio o el número total de categorías del repertorio, p_i es la proporción del silbido de contorno i en el repertorio, N_i es el número de silbidos del contorno i y N es el número total de silbidos analizados. Entonces, mientras más chico sea el valor de H' con respecto al valor de H_{\max} , se tiene que los delfines utilizaron algunos silbidos mucho más frecuentemente que otros, es decir, algunos tipos de silbidos fueron dominantes en el uso.

Se comparó la complejidad del repertorio de silbidos para cada uno de tres delfines, los delfines 1 y 2 del delfinario 1: "Six Flags" y el delfín 3 del delfinario 2: "Atlantis". Además,

CAPÍTULO III METODOLOGÍA: CARACTERIZACIÓN DEL REPERTORIO DE SILBIDOS

también se comparó la complejidad del repertorio de silbidos de acuerdo con las diferentes situaciones a las que fueron expuestos los delfines en ambos delfinarios (i. e., cambio de estanque en el delfinario 1: “Six Flags” y cambio de compañero en el delfinario 2: “Atlantis”).

III.2.3.5. Estereotipia en los silbidos

Para medir la estereotipia de los silbidos se utilizó la subrutina de programación en lenguaje Matlab que emplea una red neuronal (Deecke *et al.*, 1999; Deeke & Janik, 2006; ver Apéndice 1). En esta ocasión, en vez de fijar un porcentaje de similitud de 90% como se utilizó para obtener el repertorio de silbidos automatizado, se varió este porcentaje para que la clasificación automatizada determinara que todos los silbidos analizados correspondían a la misma categoría después de un número determinado de iteraciones. El porcentaje de similitud más grande con el que se obtenía una sola categoría correspondía al valor de similitud o estereotipia de los silbidos analizados. La estereotipia de los distintos tipos de silbidos se cuantificó por individuo y por día.

Se consideró que un tipo de silbido era estereotípico si el porcentaje de similitud era mayor a 91%, por lo que se calculó la estereotipia de los tipos de silbidos que, cuando se fijaba el porcentaje de similitud a más de 90%, la clasificación automatizada determinaba que sólo existía una categoría. Además, un tipo de silbido considerado estereotípico se debió presentar en más de la mitad de los días de muestreo para poder determinar su variabilidad diaria. Finalmente, se midieron parámetros acústicos tanto absolutos como relativos a los silbidos estereotípicos, como sigue:

- la frecuencia mínima y máxima y el ancho de banda de todo el silbido (considerando la frecuencia fundamental y los armónicos),
- la duración del segmento convexo y constante en la frecuencia fundamental,
- la frecuencia inicial, final y máxima y el ancho de banda del segmento convexo de la frecuencia fundamental,
- el ancho de banda del segmento constante de la frecuencia fundamental,
- la frecuencia a la máxima intensidad registrada en el segundo armónico y esta intensidad máxima y
- la diferencia en la intensidad máxima de la frecuencia fundamental y el segundo armónico en la región constante del silbido.

III.3. Resultados Delfinario 1: “Six Flags”

La recolección de datos en el delfinario 1: “Six Flags” se llevó a cabo durante 36 días entre el 03 de octubre de 2006 y el 24 de octubre de 2007 (Tabla 1.1). El esfuerzo de muestreo dependió de la autorización del parque para realizar este trabajo, ya que no en todos los días de “descanso” fue posible realizar la recolección de datos. De estos 36 días, en el capítulo II, únicamente se consideraron 22 días de muestreo con 946 silbidos (Tabla 2.5) para tratar de calcular la ubicación de la fuente en el delfinario 1: “Six Flags”. Pero, para el análisis del repertorio de silbidos del delfinario 1: “Six Flags” se utilizaron 35 de los 36 días muestreados (Tabla 3.3). El único día que no se pudo utilizar para el análisis del repertorio de silbidos fue en el que no se tuvo registro de audio (05 de septiembre de 2007; 3% de los días de muestreo).

Entonces, se consideraron los 22 días de muestreo usados en el capítulo II, los 10 días en los que no se grabaron silbidos y los tres donde no se tenía registro de video. El equipo de grabación utilizado en los 22 días de muestreo usados en el capítulo II se muestra en la tabla 2.2. Las grabaciones durante dos de los tres días en que no se tuvo registro de video (19 de enero y 24 de octubre de 2007) se realizaron con la grabadora Microtrack a una tasa de muestreo de 88.2 kHz a 16 bits y utilizando los hidrófonos 8203 y 8204. Para las grabaciones durante el otro día en que no se tuvo registro de video (27 de abril de 2007) se utilizó una tasa de muestreo de 96 kHz a 24 bits y los hidrófonos 8219 y 8222. De estas grabaciones durante los tres días en que no se tuvo registro de video se obtuvieron 306 silbidos adicionales.

Además, también se utilizó el tiempo adicional de grabación del 18 de octubre de 2006 (32.3 minutos con 45 silbidos) y se consideraron todos los silbidos grabados durante cinco días (68 silbidos adicionales del 23 y 30 de octubre de 2006, 11 de diciembre de 2006 y 27 de marzo y 13 de septiembre de 2007), porque algunos no fueron considerados para calcular la ubicación de la fuente en el capítulo II porque estaban traslapados con otros silbidos, pero para los que si fue posible definir el inicio y término de cada uno y se pudo realizar el análisis de los silbidos. Así, en los 35 días de muestreo se grabaron 4799 minutos (79.98 horas) en los que se tuvieron 447 minutos con 1365 silbidos (Tabla 3.3).

Tabla 3.3. Esfuerzo de muestreo en el delfinario 1: "Six Flags", mostrando los días durante los que se tomaron datos, el tiempo de grabación, el número de minutos con silbidos, el número de minutos grabados, el número de silbidos obtenidos y las tres tasas de emisión de silbidos calculadas.

# de día de muestreo	fecha	tiempo de grabación (min)	número de minutos grabados con silbidos	número de minutos grabados	número de silbidos grabados	tasa de emisión (silbidos/min grabados)	tasa de emisión (silbidos/min c/silbidos)	tasa de emisión (silbidos/cada min)
1	3/oct/06	114.2	7	113	18	0.16	2.57	0.16
2	4/oct/06	66.0	0	67	0	0.00	0.00	0.00
3	10/oct/06	53.7	0	55	0	0.00	0.00	0.00
4	11/oct/06	144.1	18	146	56	0.39	3.11	0.38
5	17/oct/06	90.9	20	98	41	0.45	2.05	0.42
6	18/oct/06	107.8	18	98	50	0.46	2.78	0.51
7	23/oct/06	192.2	49	188	146	0.76	2.98	0.78
8	30/oct/06	157.7	32	183	100	0.63	3.13	0.55
9	27/nov/06	48.0	2	49	5	0.10	2.50	0.10
10	4/dic/06	90.1	3	93	7	0.08	2.33	0.08
11	11/dic/06	76.8	21	78	47	0.61	2.24	0.60
12	18/dic/06	145.2	25	146	74	0.51	2.96	0.51
13	3/ene/07	48.0	0	53	0	0.00	0.00	0.00
14	5/ene/07	66.9	7	67	11	0.16	1.57	0.16
15	15/ene/07	228.5	15	226	32	0.14	2.13	0.14
16	16/ene/07	144.4	2	144	3	0.02	1.50	0.02
17	17/ene/07	95.4	0	95	0	0.00	0.00	0.00
18	19/ene/07	138.9	50	145	216	1.56	1.00	1.49
19	23/ene/07	26.4	0	26	0	0.00	0.00	0.00
20	24/ene/07	68.5	0	68	0	0.00	0.00	0.00
21	31/ene/07	96.4	1	95	2	0.02	1.00	0.02
22	13/feb/07	74.0	8	73	8	0.11	2.00	0.11
23	26/feb/07	144.0	0	149	0	0.00	0.00	0.00
24	5/mar/07	144.3	2	141	5	0.03	2.50	0.04
25	13/mar/07	104.3	0	95	0	0.00	0.00	0.00
26	27/mar/07	95.4	28	93	133	1.39	4.75	1.43
27	27/abr/07	59.3	25	59	67	1.13	2.68	1.14
28	4/may/07	40.8	2	43	7	0.17	3.50	0.16
29	11/may/07	15.2	2	15	9	0.59	4.50	0.60
30	17/may/07	78.9	2	82	2	0.03	1.00	0.02
31	30/ago/07	60.0	0	60	0	0.00	0.00	0.00
32	13/sep/07	1440.0	83	1440	269	0.19	3.24	0.19
33	3/oct/07	100.0	0	100	0	0.00	0.00	0.00
34	10/oct/07	120.0	13	133	35	0.29	2.69	0.26
35	24/oct/07	123.0	12	122	22	0.18	1.83	0.18
TOTAL		4798.9	447	4838	1365	0.28	3.05	0.28
PROMEDIO		137.1	12.8	138.2	39.0	0.29	1.79	0.29
DESVIACIÓN ESTÁNDAR		231.4	18.3	231.4	63.7	0.40	1.40	0.40
MAXIMO		1440.0	83	1440	269	1.56	4.75	1.49
MINIMO		15.2	0	15	0	0.00	0.00	0.00

III.3.1. Ocurrencia de silbidos Delfinario 1: “Six Flags”

Como se mencionó en la sección II.2.1.1, se realizó un estudio prospectivo de tres días durante el periodo del 22 de agosto al 20 de septiembre de 2006 para probar los distintos sistemas de grabación y poder elegir el más adecuado. Además, este estudio prospectivo también tuvo la finalidad de que los delfines se familiarizaran con la recolección de datos realizada por este estudio y para determinar cómo era la emisión de silbidos. Entonces, se grabaron 138 minutos, con lo que se determinó que en el delfinario 1: “Six Flags” la ocurrencia promedio de silbidos fue de 0.33 silbidos/minuto grabado, destacando que en uno de estos tres días no se grabó ningún silbido durante los 5 minutos de muestreo y en otro día se obtuvo una tasa de emisión de 0.10 silbidos/minutos para los 88 minutos de muestreo. Estas tasas de emisión de silbidos tan bajas indicaron que el esfuerzo de muestreo en el delfinario 1: “Six Flags” debía ser considerable para obtener una base de datos adecuada con la que se pudieran cumplir los objetivos planteados por este estudio.

El análisis de los silbidos grabados en el delfinario 1: “Six Flags” indicó que la ocurrencia de silbidos fue muy variable: en 10 días no se registró ningún silbido (el 28.6% de los días) y en 4 días se grabaron el 54.3% de los silbidos analizados (sin considerar el día que se grabó durante 24 horas porque el esfuerzo no es comparable con el de los otros días; Tabla 3.3). Así, en los 4799 minutos grabados, sólo durante el 8.3% del tiempo se tuvieron silbidos (447 minutos con 1365 silbidos), por lo que la emisión de silbidos durante todo el muestreo fue de 0.29 ± 0.40 silbidos/min grabado o 1.79 ± 1.40 silbidos/min con silbidos, con un valor mínimo de 0 silbidos/min grabado y un máximo de 1.56 silbidos/min grabado o 4.75 silbidos/min con silbidos. Como la tasa de emisión por minuto grabado y por minuto con silbidos fue muy distinta, esto implicó que la distribución de los silbidos en el tiempo no fue homogénea y que los silbidos fueron emitidos en mayor proporción a cierto tiempo. Estos resultados se confirmaron durante las grabaciones realizadas durante un ciclo de 24 horas (Tabla 3.3), en el que se registraron silbidos solamente durante el día entre las 08:31 y las 11:15 horas y entre las 13:41 y las 13:50 horas (Fig. 3.3). Entonces, las grabaciones se dividieron en minutos consecutivos sin importar si había o no emisión de silbidos para comparar la ocurrencia de silbidos durante

el cambio de estanque en el delfinario 1: “Six Flags” utilizando un valor de número de silbidos por cada minuto (Tabla 3.3, Fig. 3.4).

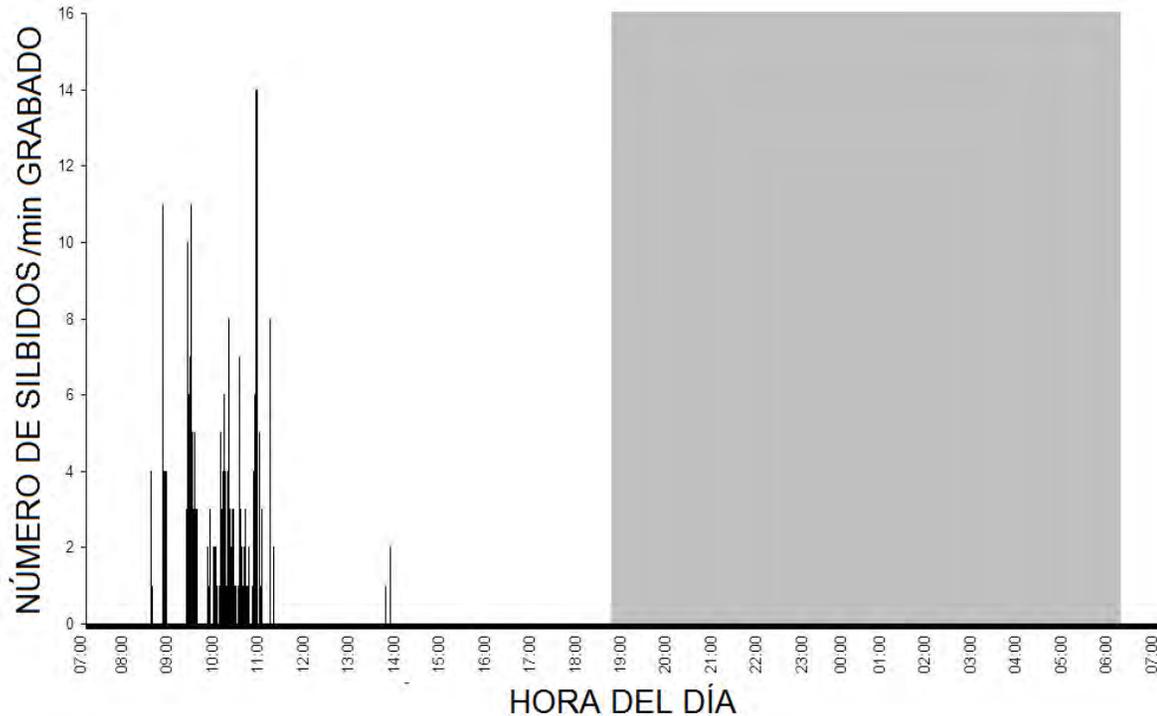


Figura 3.3. Número de silbidos registrados durante el ciclo de 24 horas realizado en el delfinario 1: “Six Flags”. El periodo marcado en gris denota la noche y el periodo marcado en blanco denota el día. Las grabaciones comenzaron a las 07:28 horas del 13 de septiembre de 2007.

Utilizando esta división en minutos consecutivos sin importar si había o no emisión de silbidos, se construyó una tabla de ocurrencia del número de minutos con un número específico de silbidos para investigar si la ocurrencia de silbidos cambiaba de acuerdo al estanque en el que se encontraban los delfines (Tabla 3.4) y se determinó que la tasa de emisión de silbidos cambió cuando los delfines estuvieron en un estanque diferente (Tabla 3.5). De octubre de 2006 a enero de 2007 que los delfines estuvieron en el estanque oval la tasa de emisión fue de 0.26 ± 0.26 silbidos/cada min, el 19 de enero que los cambiaron de estanque aumentó a 1.49 silbidos/cada min, de enero a mayo de 2007 que estuvieron en el estanque rectangular volvió a disminuir a 0.29 ± 0.50 silbidos/cada min y de mayo a octubre de 2007 cuando los delfines regresaron al estanque oval se redujo a 0.16 ± 0.11 silbidos/cada min.

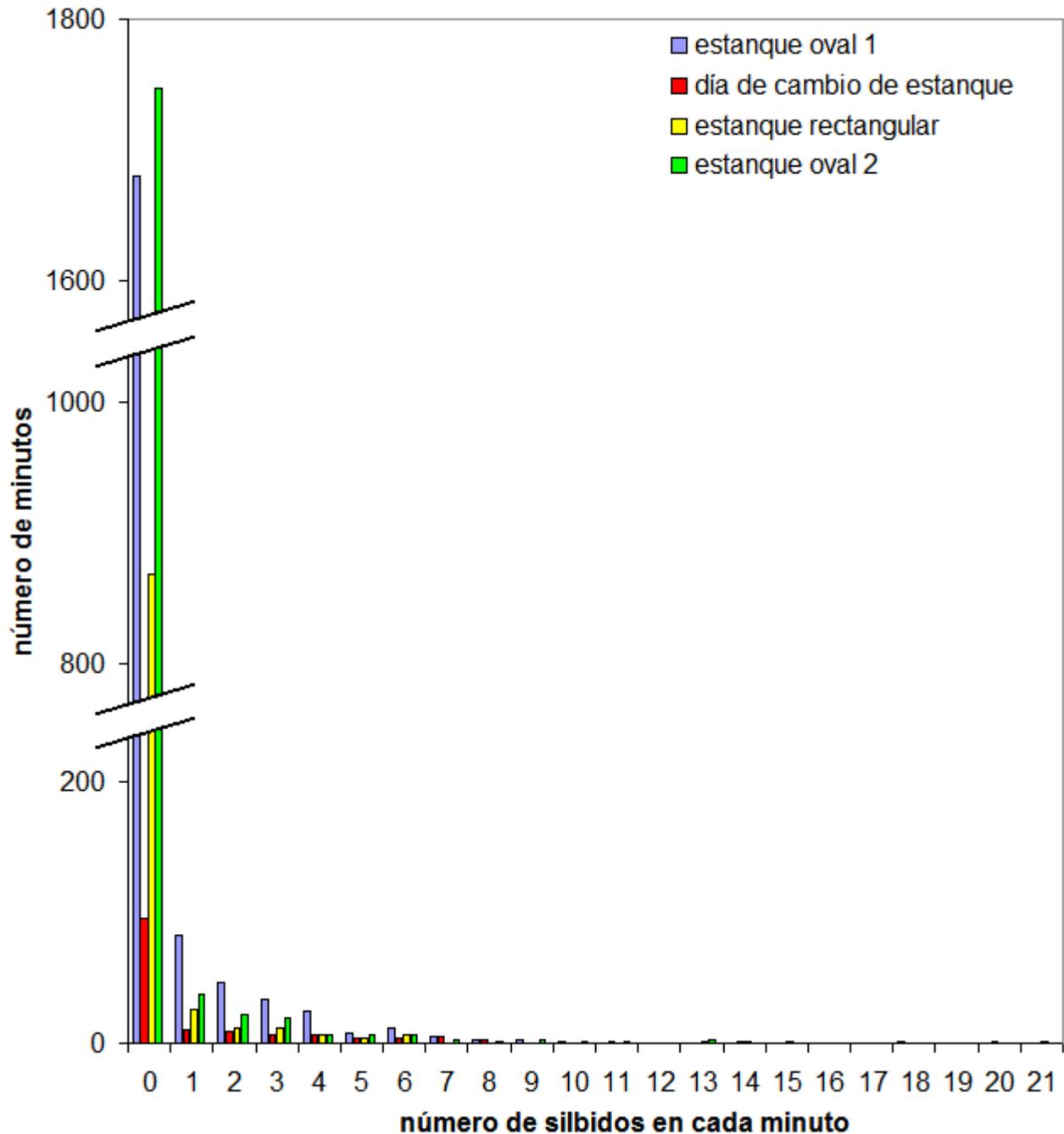


Figura 3.4. Histograma del número de silbidos registrados durante cada minuto para las cuatro situaciones del cambio de estanque en el delfinario 1: "Six Flags".

Cabe resaltar que los datos presentados para la situación del cambio del estanque oval al estanque rectangular incluyen las grabaciones realizadas en ambos estanques el día que cambiaron a los delfines de estanque. Durante este día, cuando ambos delfines se encontraban en el estanque oval, la tasa de emisión fue de 3.61 ± 4.43 silbidos/cada min,

con un valor máximo de 20 silbidos/cada min. Cuando el delfín 2 se quedó solo en el estanque oval, éste dejó de silbar, y el delfín 1 que ocupó primero el estanque rectangular aumentó su tasa de emisión de silbidos a 5.39 ± 3.23 silbidos/cada min, con un valor máximo de 14 silbidos/cada min. Una vez que ambos delfines estuvieron en el estanque rectangular, la tasa de emisión fue de 3.00 ± 2.00 silbidos/cada min, con un valor máximo de 7 silbidos/cada min.

Tabla 3.4. Tabla de ocurrencia en el delfinario 1: “Six Flags” del número de minutos que tenía un número específico de silbidos, mostrando los datos de acuerdo al estanque dónde se encontraban los delfines.

número de silbidos en cada minuto	estanque oval 1	día de cambio de estanque	estanque rectangular	estanque oval 2	número de minutos totales
0	1680	95	869	1747	4391
1	82	10	26	38	156
2	47	9	12	22	90
3	34	6	11	19	70
4	24	7	6	7	44
5	8	4	4	6	22
6	12	4	7	7	30
7	5	5	0	2	12
8	2	2	0	1	5
9	3	0	0	2	5
10	1	0	0	1	2
11	0	1	0	1	2
12	0	0	0	0	0
13	0	0	1	2	3
14	0	1	1	0	2
15	0	0	1	0	1
16	0	0	0	0	0
17	0	0	0	0	0
18	1	0	0	0	1
19	0	0	0	0	0
20	0	1	0	0	1
21	0	0	1	0	1
TOTAL	1899	145	939	1855	4838
Número de minutos con silbidos	219	50	70	108	447

Tabla 3.5. Resultados de la prueba de χ^2 de la comparación de la tasa de emisión de silbidos como número de silbidos por cada minuto durante cada cambio de estanque en el delfinario 1: "Six Flags".

χ^2	cambio de estanque	rectangular	oval 2	χ^2 TABLA p=0.001
oval 1	43.0878*			32.9092
cambio de estanque		64.2391*		32.9092
rectangular			250.3324*	37.6978

Por último, se determinó si existía relación entre la ocurrencia de silbidos y las características fisicoquímicas del agua del estanque (i.e., temperatura y salinidad). Al graficar los valores de la tasa de emisión de silbidos y de las características fisicoquímicas de acuerdo al día de grabación se encontró que los valores de salinidad y temperatura se mantuvieron relativamente estables a lo largo del periodo de muestreo, mientras que la emisión de silbidos fue muy variable (Fig. 3.5A). Además, no se encontró una relación entre la tasa de emisión de silbidos y los valores de los parámetros fisicoquímicos del agua, ya que la R^2 fue menor a 0.13 (Fig. 3.5B,C).

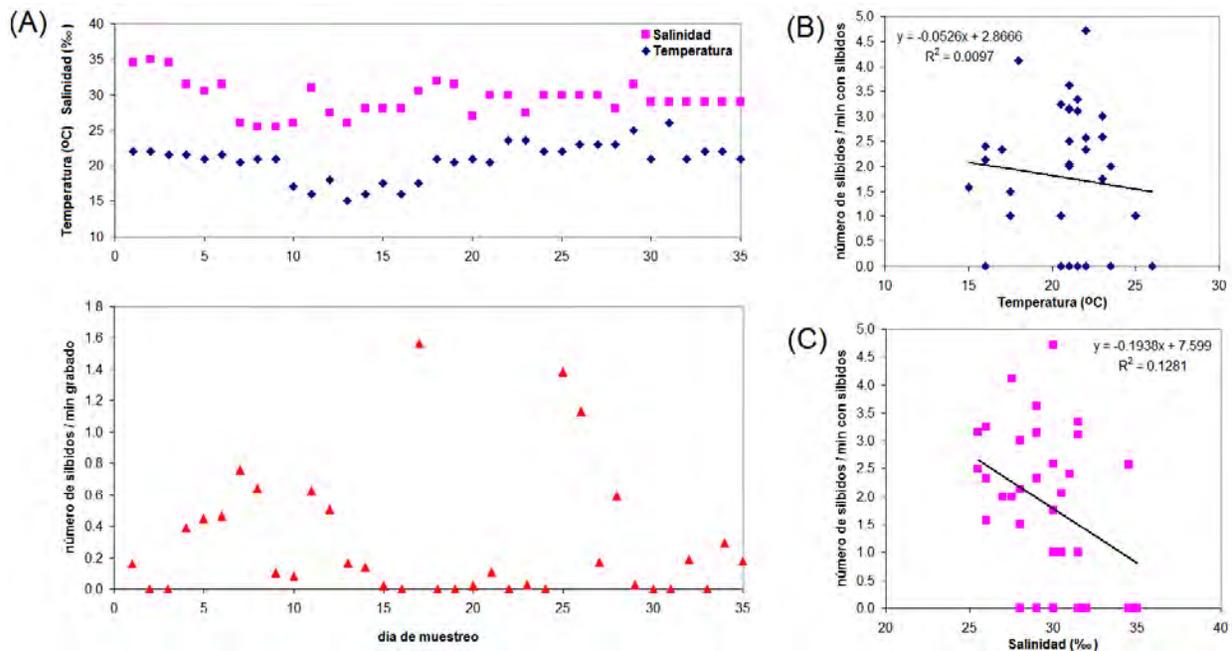


Figura 3.5. Relación entre la tasa de emisión de silbidos y los parámetros fisicoquímicos del agua de los estanques en el delfinario 1: "Six Flags". (A) Cambio de la tasa de emisión y de los parámetros fisicoquímicos de acuerdo al día de muestreo. Cambio de la tasa de emisión de acuerdo a (B) la temperatura y (C) la salinidad.

III.3.2. Repertorio de silbidos Delfinario 1: “Six Flags”

Los 1365 silbidos seleccionados incluían 191 silbidos que no eran de buena calidad porque o eran muy tenues o su contorno se modificó por el sistema de grabación. Al realizar la clasificación de forma manual, sí se pudieron clasificar todos los 1365 silbidos. Sin embargo, al realizar la clasificación automatizada, únicamente se pudieron clasificar los silbidos de buena calidad, que fueron 1174 silbidos.

III.3.2.1. Clasificación manual

Se clasificaron manualmente los 1365 silbidos del delfinario 1: “Six Flags” en 60 categorías o tipos de silbidos (Tabla 3.1). El delfín 1 emitió 40 tipos de silbidos (Fig. 3.6), de los cuales 9 fueron exclusivos de este delfín (Tabla 3.6). Además, 10 tipos de silbidos fueron emitidos por el delfín 1 (Tabla 3.7), pero incluían silbidos no adjudicados, por lo que no fue posible determinar si fueron exclusivos de un delfín en particular. El delfín 2 emitió 27 tipos de silbidos, de los cuales 4 fueron exclusivos de este delfín (Tabla 3.8). Además, 2 tipos de silbidos fueron emitidos por el delfín 2 (Tabla 3.9), pero incluían silbidos no adjudicados, por lo que no fue posible determinar si fueron exclusivos de un delfín en particular. Para 14 tipos de silbidos se desconoce qué delfín los produjo (Tabla 3.10) y el repertorio en común consistió de 21 tipos de silbidos (Tabla 3.11).

La curva del número de tipos de silbidos nuevos en el repertorio clasificados manualmente contra el número total de silbidos analizados para considerar si el repertorio de silbidos para el delfinario 1: “Six Flags” era representativo se ajustó a una curva asintótica (Fig. 3.7A,B); se observó un incremento en el número de silbidos nuevos muy bajo al compararlo con un repertorio infinito. El repertorio de 60 tipos de silbidos se alcanzó cuando se habían analizado 1275 silbidos de 55 h de muestreo (93% del total de silbidos analizados y 69% del tiempo grabado), por lo que puede ser considerado como un repertorio representativo de silbidos del delfinario 1: “Six Flags”.

Cuando los delfines estuvieron en los distintos estanques del delfinario 1: “Six Flags” su repertorio manual cambió (Fig. 3.6): sólo hubo 9 tipos de silbidos que se registraron durante todo este estudio (i.e., en todos los estanques). Cuando comenzó el estudio y estaban en el estanque oval (estanque oval 1), su repertorio fue de 38 tipos de silbidos.

Cuando los delfines se cambiaron de estanque su repertorio se redujo a únicamente 11 tipos de silbidos de estos 38, más uno nuevo. Al estar en el estanque rectangular, los delfines hicieron 24 tipos de silbidos que ya habían emitido en el estanque oval y produjeron 9 nuevos. Al ser llevados nuevamente al estanque oval (estanque oval 2), emitieron 12 tipos de silbidos que ya habían emitido en el estanque oval 1, el tipo de silbido nuevo que emitieron cuando los cambiaron de estanque, un tipo que ya habían emitido en el estanque rectangular y 12 tipos nuevos.

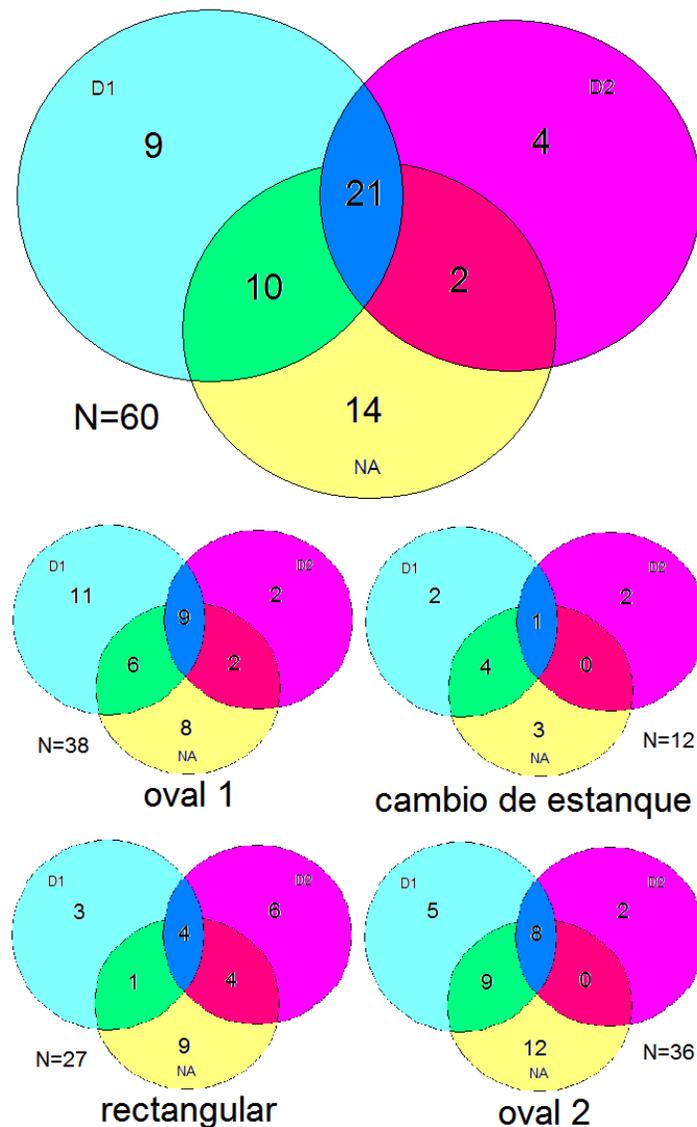


Figura 3.6. Los 60 tipos de silbidos del delfinario 1: “Six Flags” determinados con la clasificación manual de acuerdo al delfín al que fueron adjudicados y considerando el estanque en el que se estaban los delfines. D1 = delfín 1, D2 = delfín 2, NA = no adjudicados. N = número de tipo de silbidos.

Tabla 3.6. Espectrogramas de los 9 tipos de silbidos exclusivos del delfín 1 del delfinario 1: "Six Flags" obtenidos con la clasificación manual.

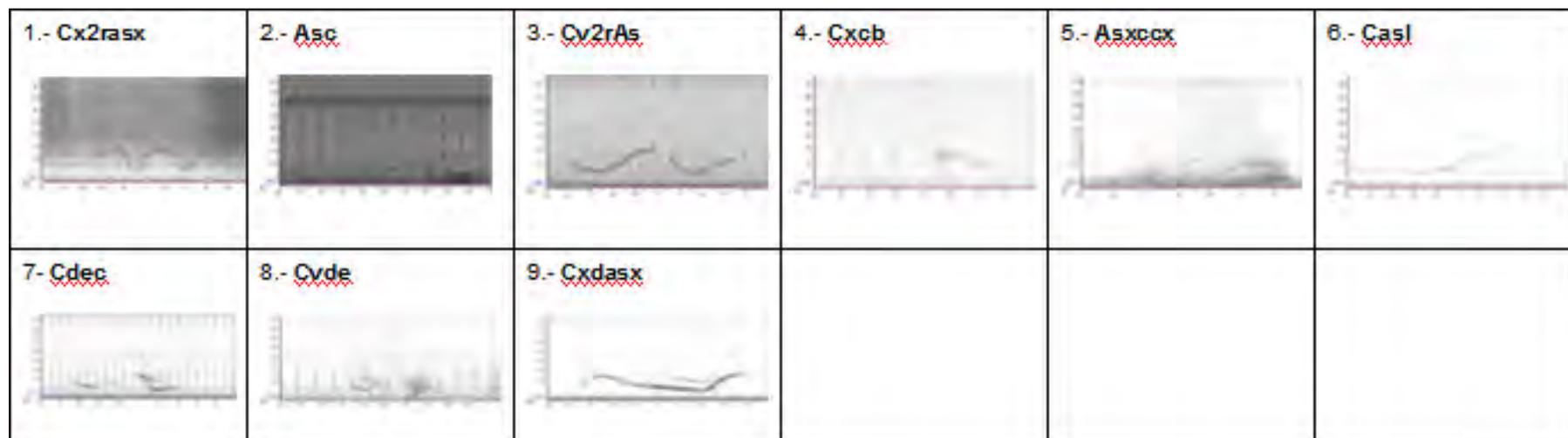


Tabla 3.7. Espectrogramas de los 10 tipos de silbidos del delfín 1 y no adjudicados del delfinario 1: "Six Flags" obtenidos con la clasificación manual.

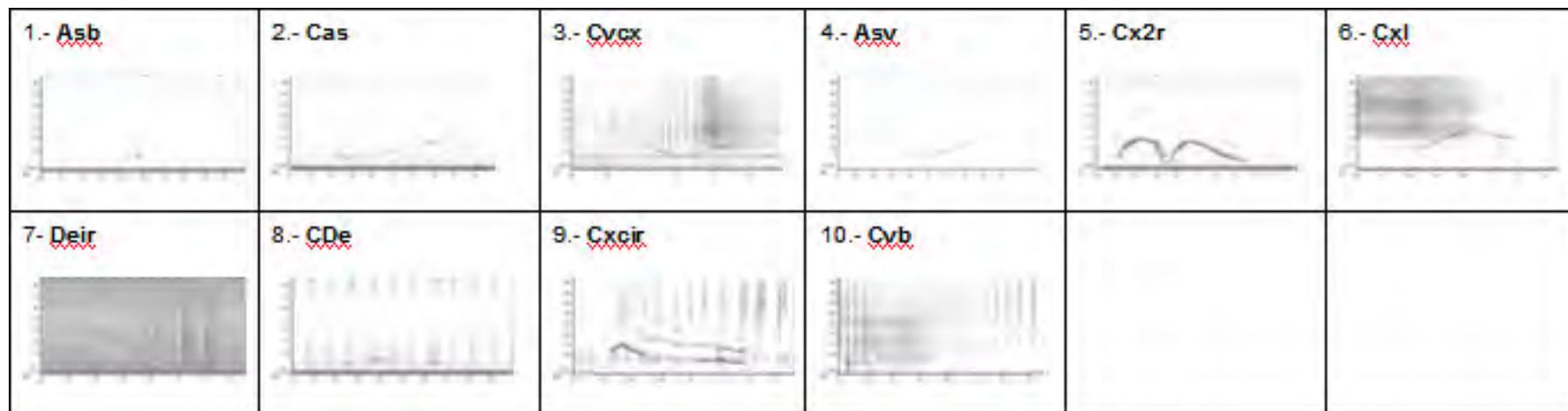


Tabla 3.8. Espectrogramas de los 4 tipos de silbidos exclusivos del delfín 2 del delfinario 1: "Six Flags" obtenidos con la clasificación manual.

Tabla 3.9. Espectrogramas de los 2 tipos de silbidos del delfín 2 y no adjudicados del delfinario 1: "Six Flags" obtenidos con la clasificación manual.

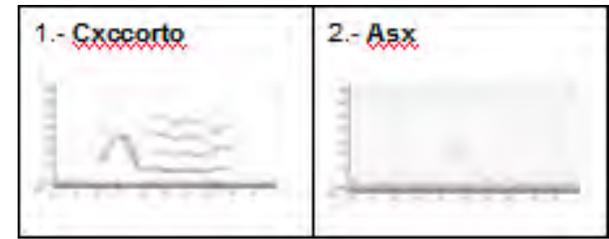
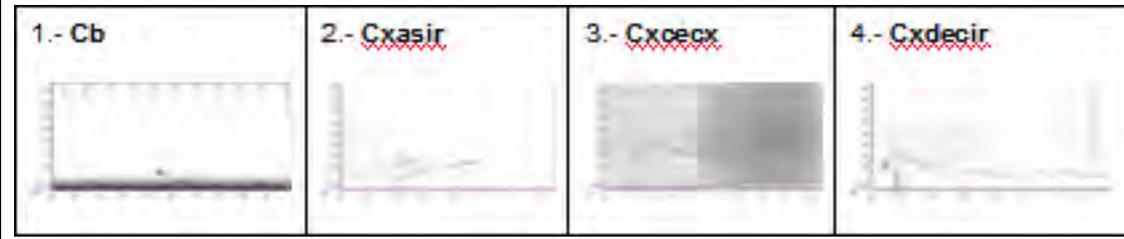


Tabla 3.10. Espectrogramas de los 14 tipos de silbidos exclusivos no adjudicados del delfinario 1: "Six Flags" obtenidos con la clasificación manual.

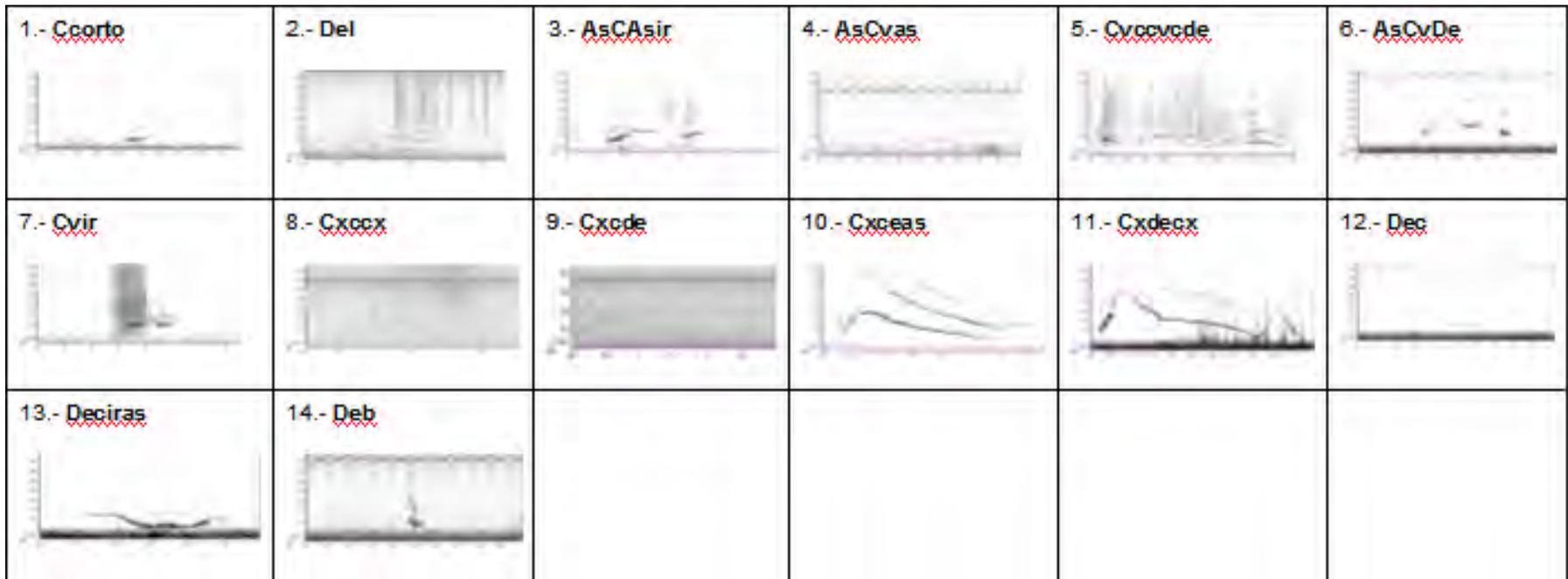
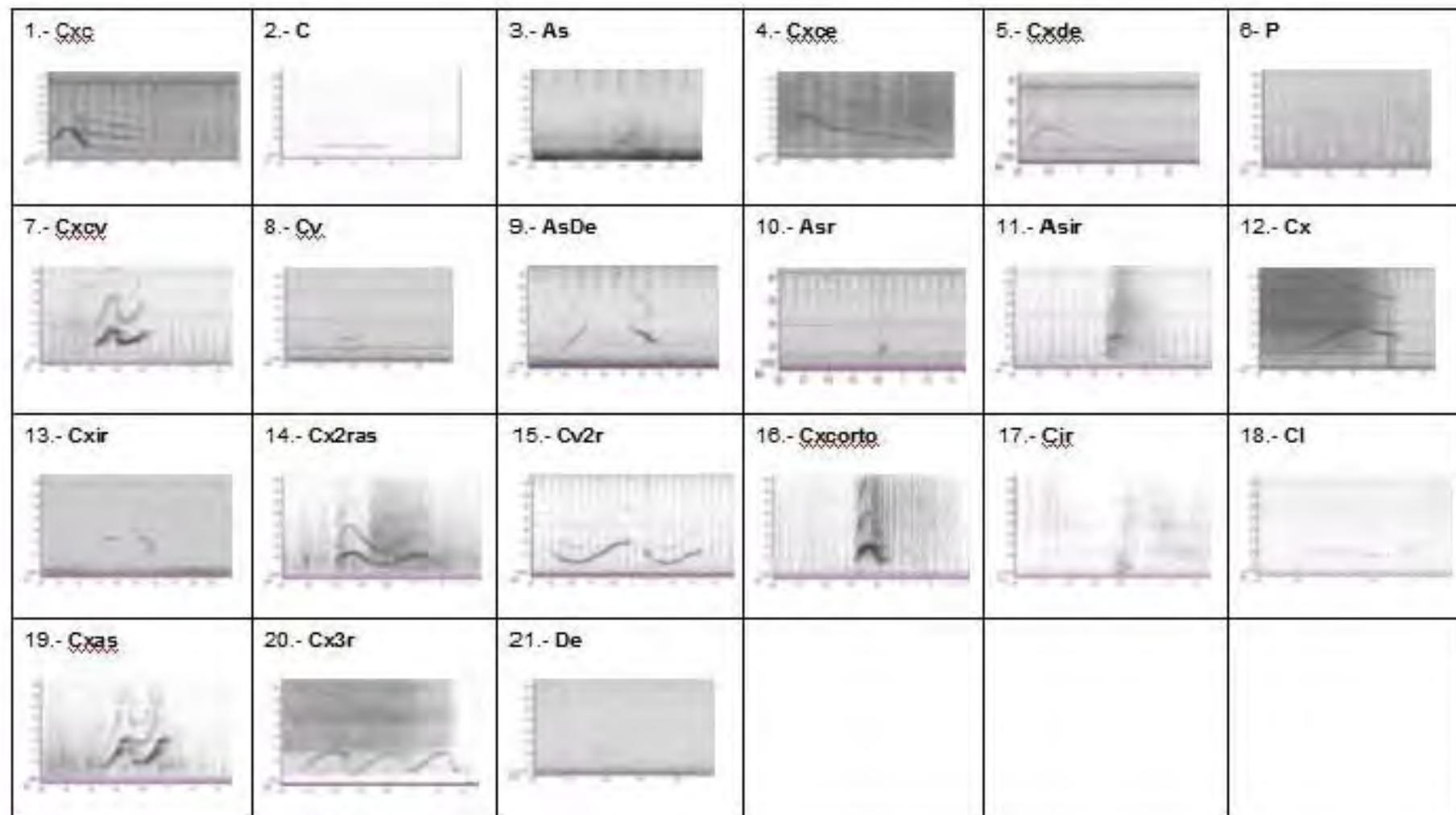


Tabla 3.11. Espectrogramas de los 21 tipos de silbidos compartidos por ambos delfines del delfinario 1: "Six Flags" obtenidos con la clasificación manual.



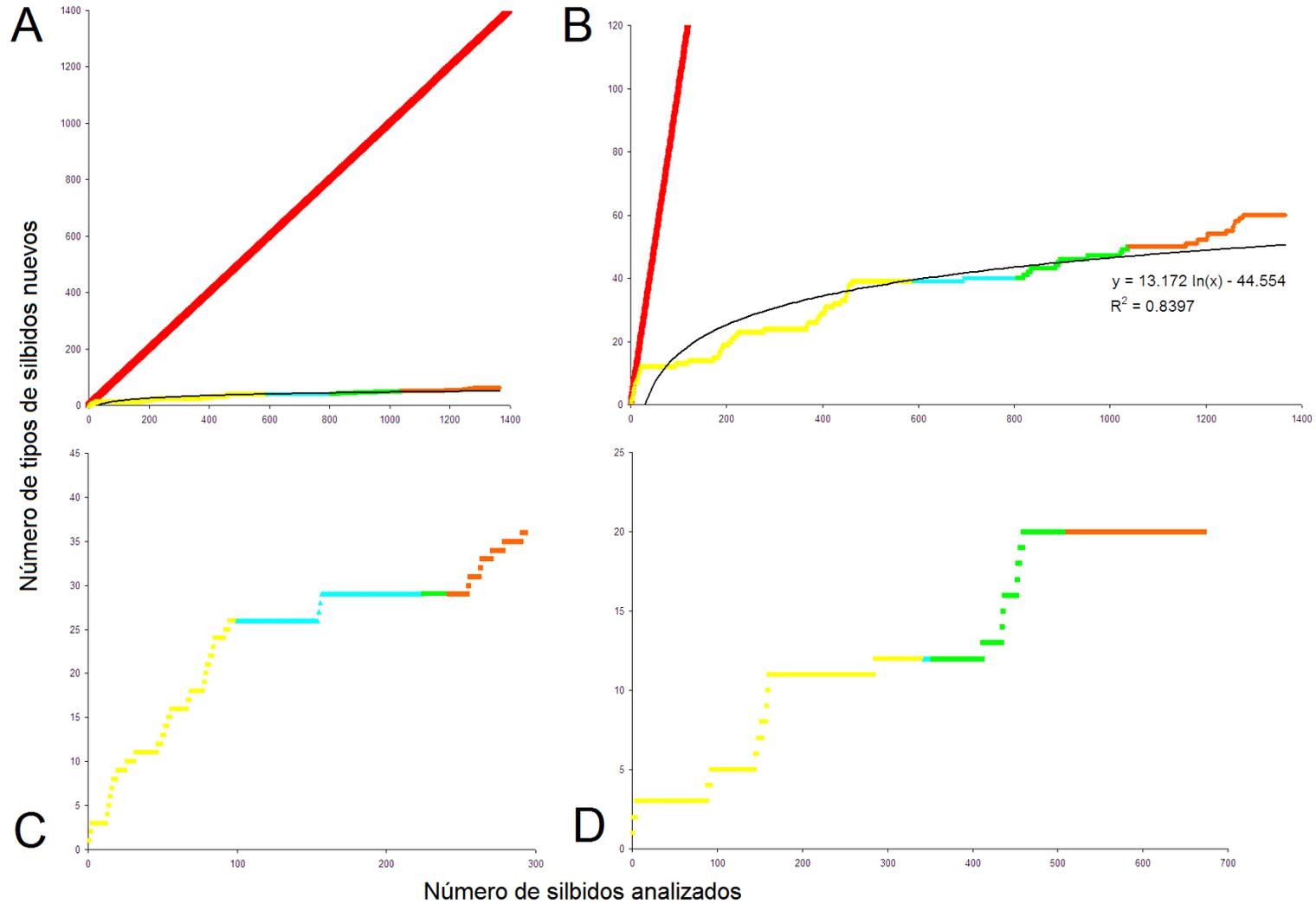


Figura 3.7. Curvas acumulativas para el delfinario 1: “Six Flags” del número de tipos de silbidos nuevos vs. el número de silbidos analizados determinados con la clasificación manual: (A) vista completa y (B) detalle de la curva acumulativa para los dos delfines (la línea roja con pendiente, $m=1$ representa un repertorio infinito), (C) delfín 1 y (D) delfín 2. Amarillo: estanque oval 1, azul: día del cambio de estanque, verde: estanque rectangular y naranja: estanque oval 2. Las líneas negras representan el ajuste logarítmico de los datos y se muestra su ecuación y valor de ajuste (R^2).

III.3.2.2. Clasificación automatizada

Se clasificaron automáticamente los 1175 silbidos del delfinario 1: "Six Flags" en 121 categorías o tipos de silbidos (Tabla 3.2). El delfín 1 emitió 76 tipos de silbidos (Fig. 3.8), de los cuales 30 fueron exclusivos de este delfín (Tabla 3.12). Además, 20 tipos de silbidos fueron emitidos por el delfín 1 (Tabla 3.13), pero incluían silbidos no adjudicados, por lo que no fue posible determinar si fueron exclusivos de un delfín en particular. El delfín 2 emitió 45 tipos de silbidos, de los cuales 12 fueron exclusivos de este delfín (Tabla 3.14). Además, 7 tipos de silbidos fueron emitidos por el delfín 2 (Tabla 3.15), pero incluían silbidos no adjudicados, por lo que no fue posible determinar si fueron exclusivos de un delfín en particular. Para 26 tipos de silbidos se desconoce qué delfín los produjo (Tabla 3.16) y el repertorio en común consistió de 26 tipos de silbidos (Tabla 3.17).

La curva del número de tipos de silbidos nuevos en el repertorio clasificados automáticamente contra el número total de silbidos analizados para considerar si el repertorio de silbidos para el delfinario 1: "Six Flags" era representativo se ajustó a una curva asintótica (Fig. 3.9A,B); se observó un incremento en el número de silbidos nuevos muy bajo al compararlo con un repertorio infinito. El repertorio de 121 tipos de silbidos se alcanzó cuando se habían analizado 1097 silbidos de 55 h de muestreo (93% del total de silbidos analizados y 69% del tiempo grabado), por lo que puede ser considerado como un repertorio representativo de silbidos del delfinario 1: "Six Flags".

Cuando los delfines estuvieron en los distintos estanques del delfinario 1: "Six Flags" su repertorio automatizado cambió (Fig. 3.8): sólo hubo 4 tipos de silbidos que se registraron durante todo este estudio (i.e., en todos los estanques). Cuando comenzó el estudio y estaban en el estanque oval (estanque oval 1), su repertorio fue de 72 tipos de silbidos. Cuando los delfines se cambiaron de estanque su repertorio se redujo a únicamente 15 tipos de silbidos de estos 72, más dos nuevos. Al estar en el estanque rectangular, los delfines hicieron 23 tipos de silbidos que ya había emitido en el estanque oval, dos tipos de silbidos que ya habían emitido cuando los cambiaron de estanque y produjeron 19 nuevos. Al ser llevados nuevamente al estanque oval (estanque oval 2), emitieron 32 tipos de silbidos que ya habían emitido en el estanque oval 1, tres tipos de silbidos que ya habían emitido cuando los cambiaron de estanque, tres tipos que ya habían emitido en el estanque rectangular y 25 tipos nuevos.

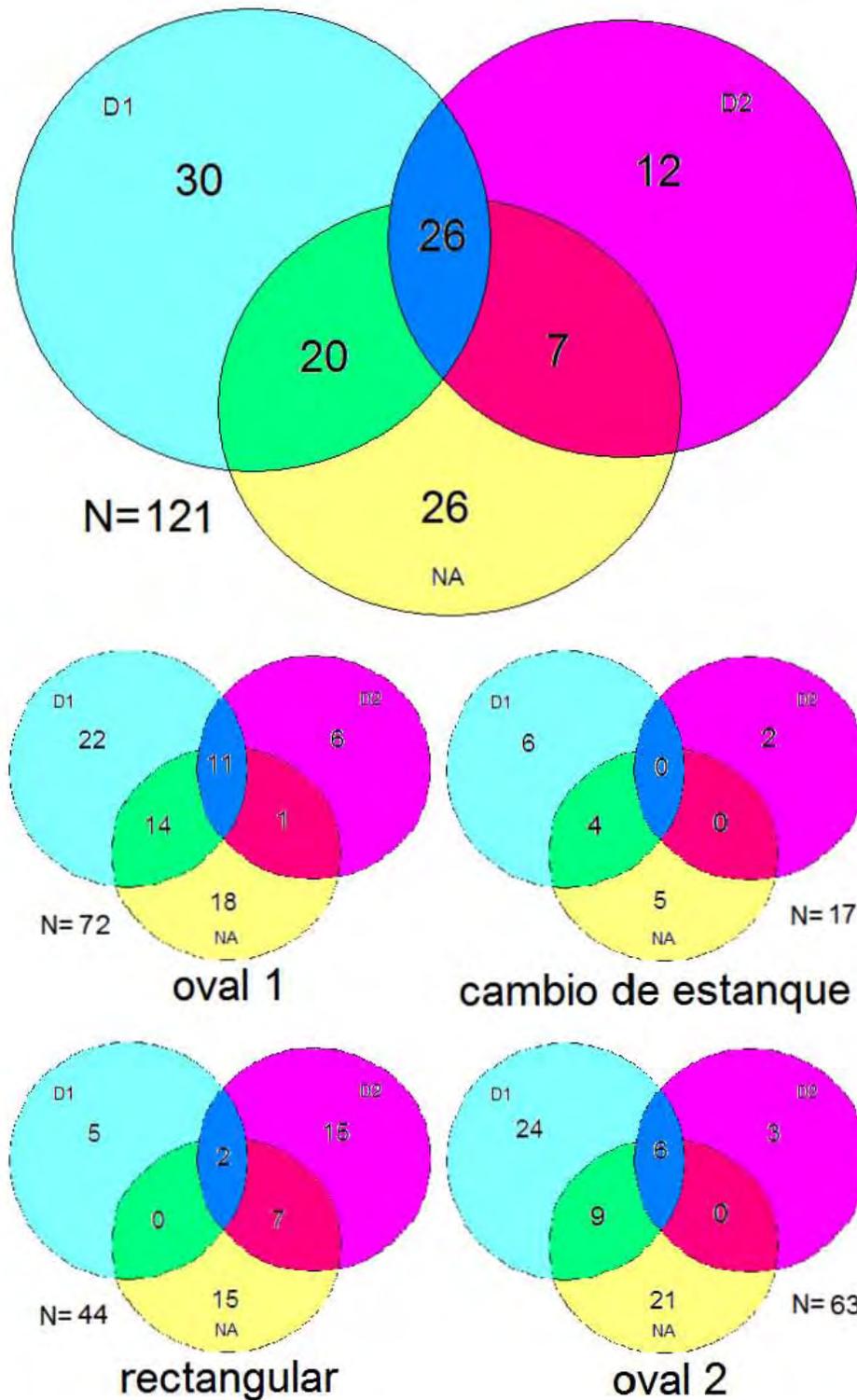


Figura 3.8. Los 121 tipos de silbidos del delfinario 1: “Six Flags” determinados con la clasificación automatizada de acuerdo al delfín al que fueron adjudicados y considerando el estanque en el que se encontraban los delfines. D1 = delfín 1, D2 = delfín 2, no adjudicados = NA. N = número de tipos de silbidos.

Tabla 3.12. Espectrogramas de los 30 tipos de silbidos exclusivos del delfín 1 del delfinario 1: "Six Flags" obtenidos con la clasificación automatizada.

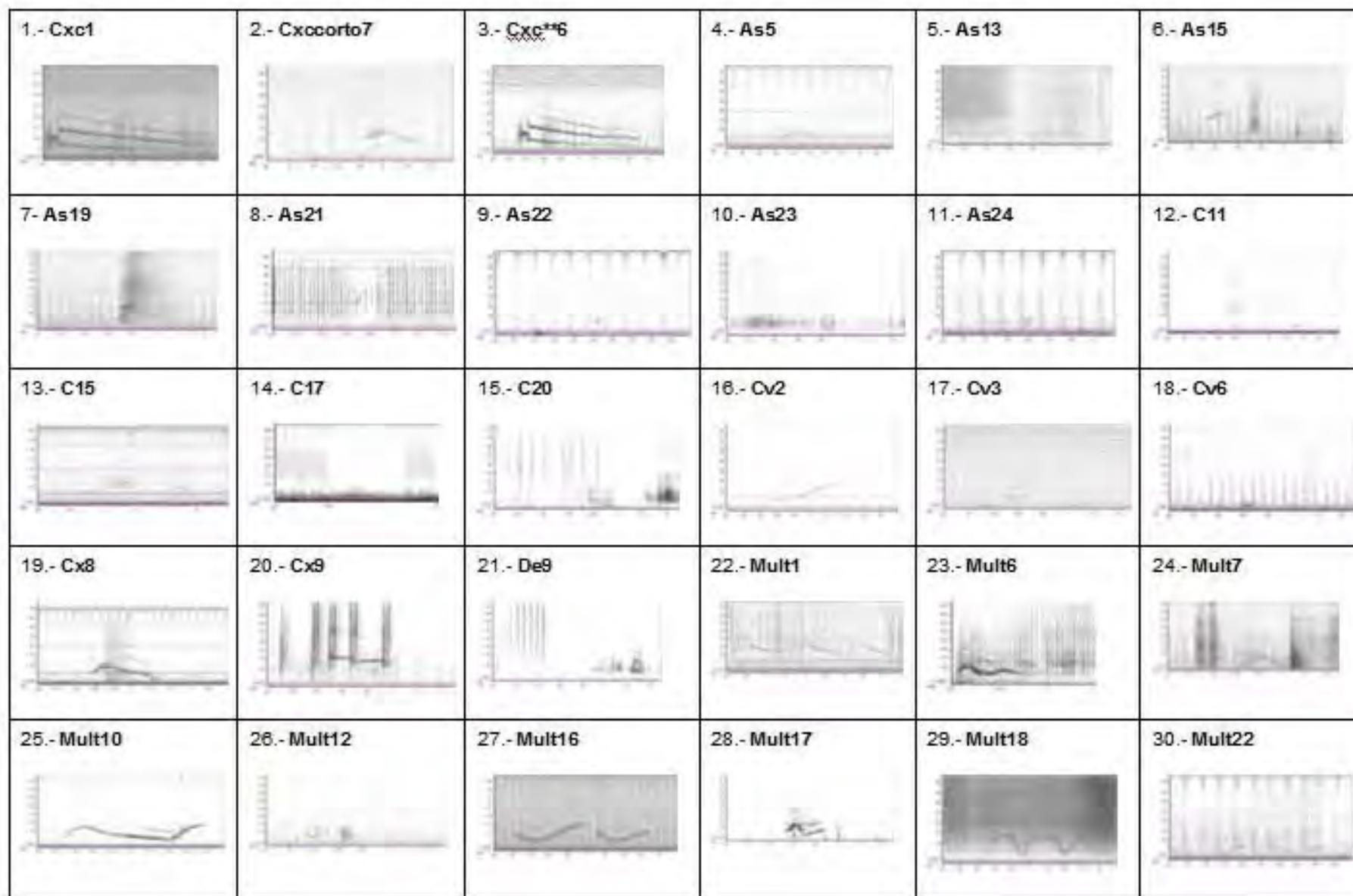


Tabla 3.13. Espectrogramas de los 20 tipos de silbidos del delfín 1 y no adjudicados del delfinario 1: "Six Flags" obtenidos con la clasificación automatizada.

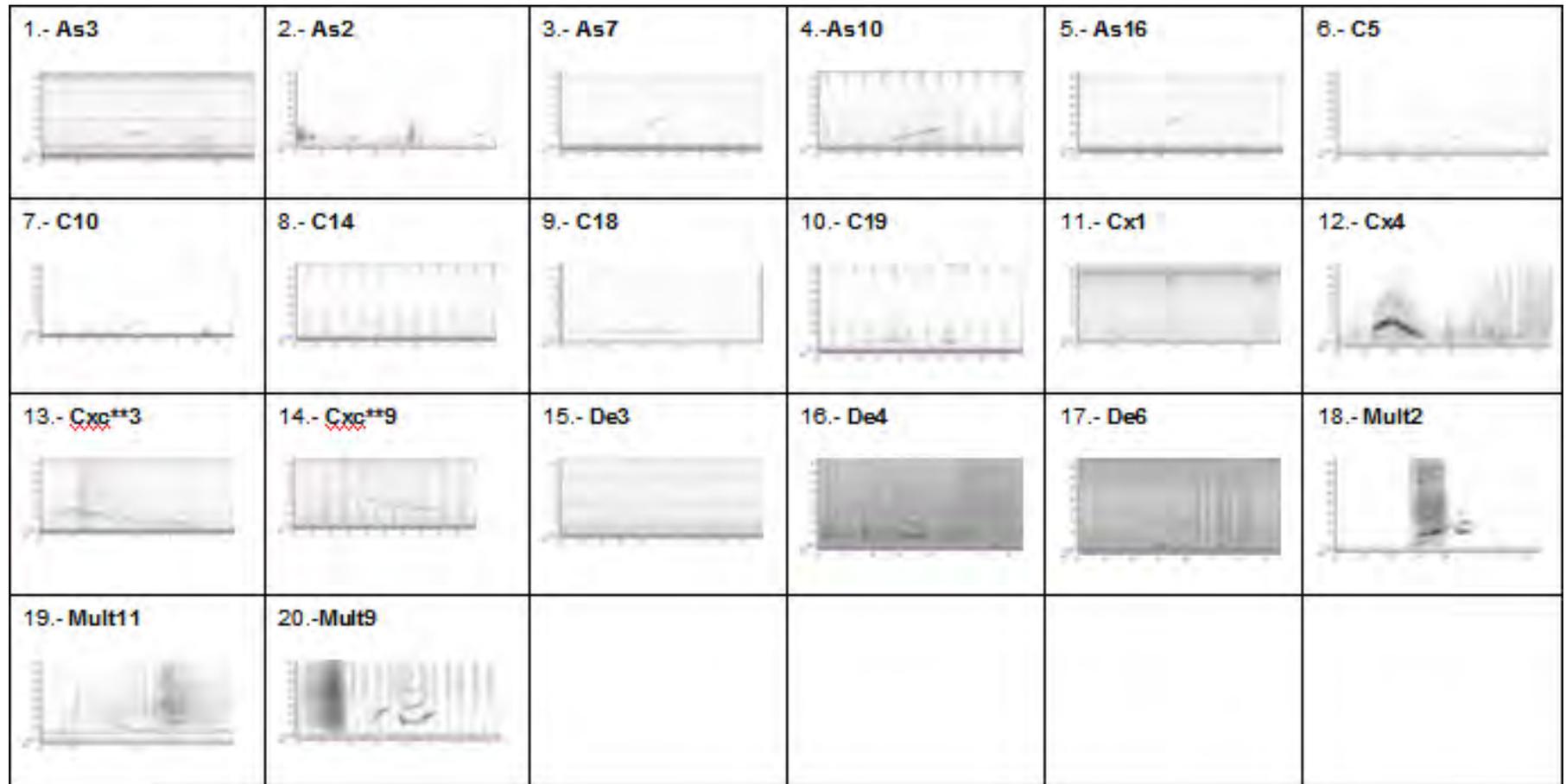


Tabla 3.14. Espectrogramas de los 12 tipos de silbidos exclusivos del delfín 2 del delfinario 1: "Six Flags" obtenidos con la clasificación automatizada.

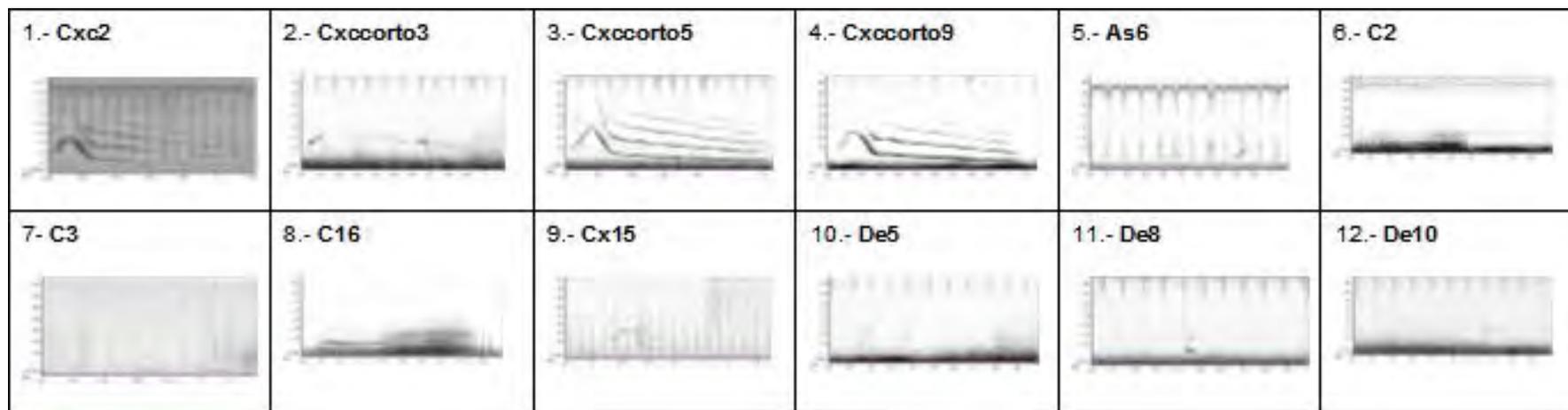


Tabla 3.15. Espectrogramas de los 7 tipos de silbidos del delfín 2 y no adjudicados del delfinario 1: "Six Flags" obtenidos con la clasificación automatizada.

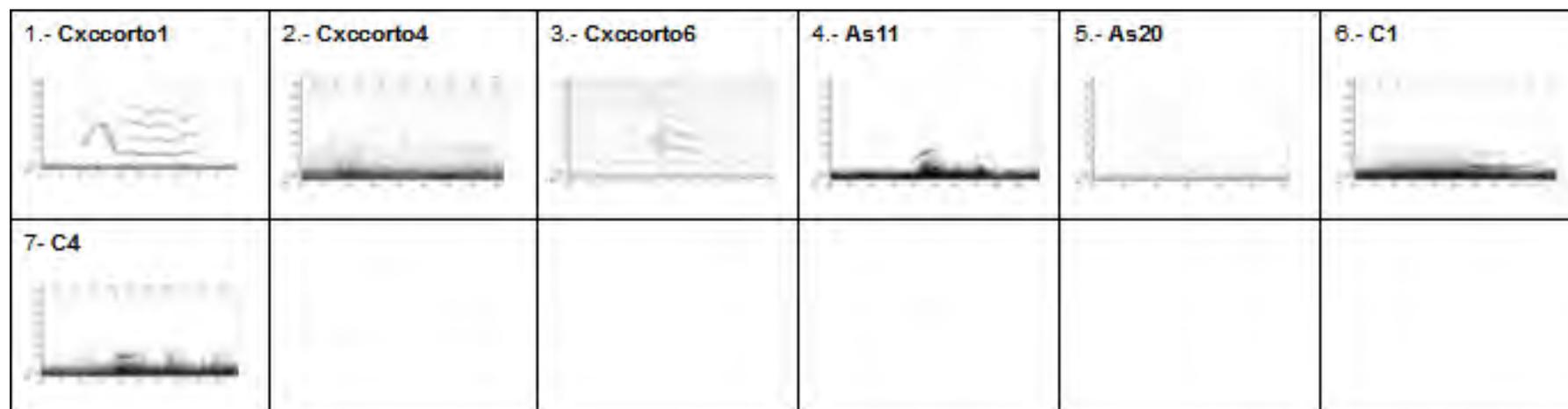


Tabla 3.16. Espectrogramas de los 26 tipos de silbidos no adjudicados del delfinario 1: "Six Flags" obtenidos con la clasificación automatizada.

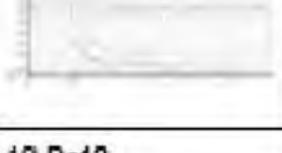
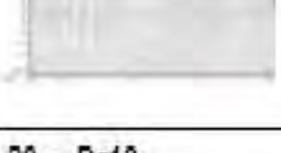
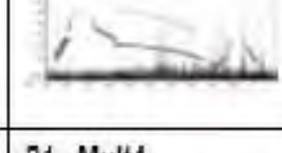
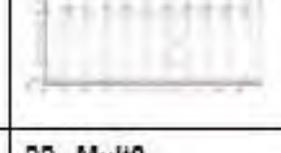
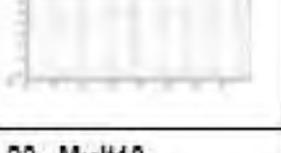
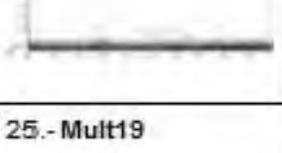
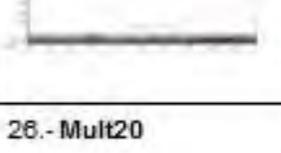
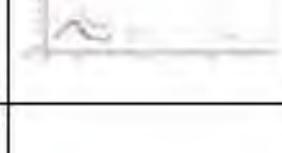
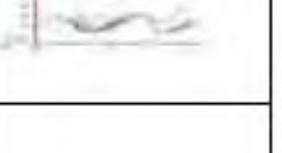
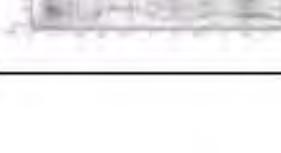
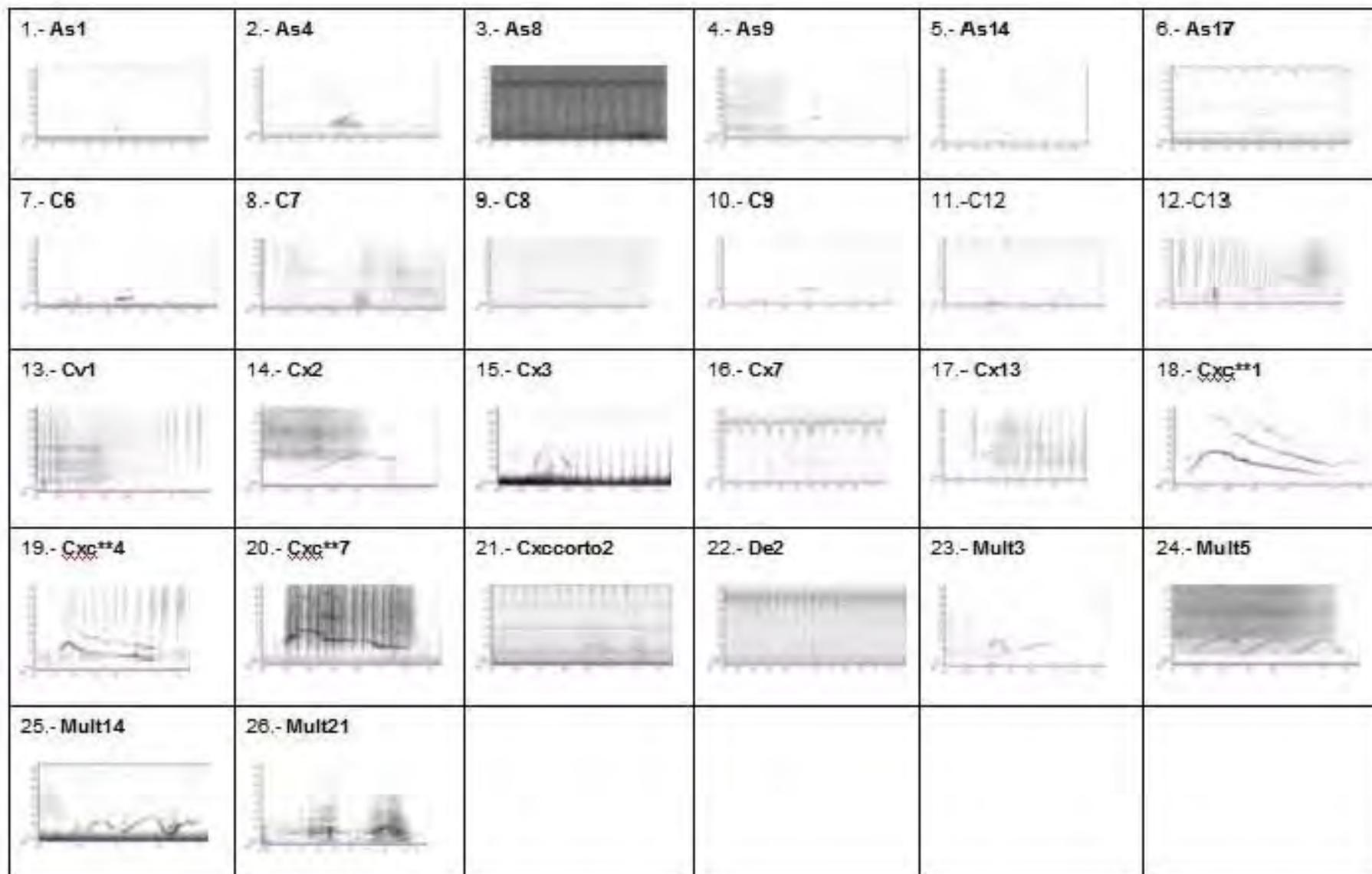
1.- As12 	2.- As18 	3.- Cv4 	4.- Cv5 	5.- Cv7 	6.- Cx5 
7.- Cx6 	8.- Cx10 	9.- Cx11 	10.- Cx12 	11.- Cx14 	12.- Cxc**2 
13.- Cxc**5 	14.- Cxc**8 	15.- Cxcco8 	16.- De1 	17.- De7 	18.- De11 
19 De12 	20.- De13 	21.- Mult4 	22.- Mult8 	23.- Mult13 	24.- Mult15 
25.- Mult19 	26.- Mult20 				

Tabla 3.17. Espectrogramas de los 26 tipos de silbidos compartidos por ambos delfines del delfinario 1: "Six Flags" obtenidos con la clasificación automatizada.



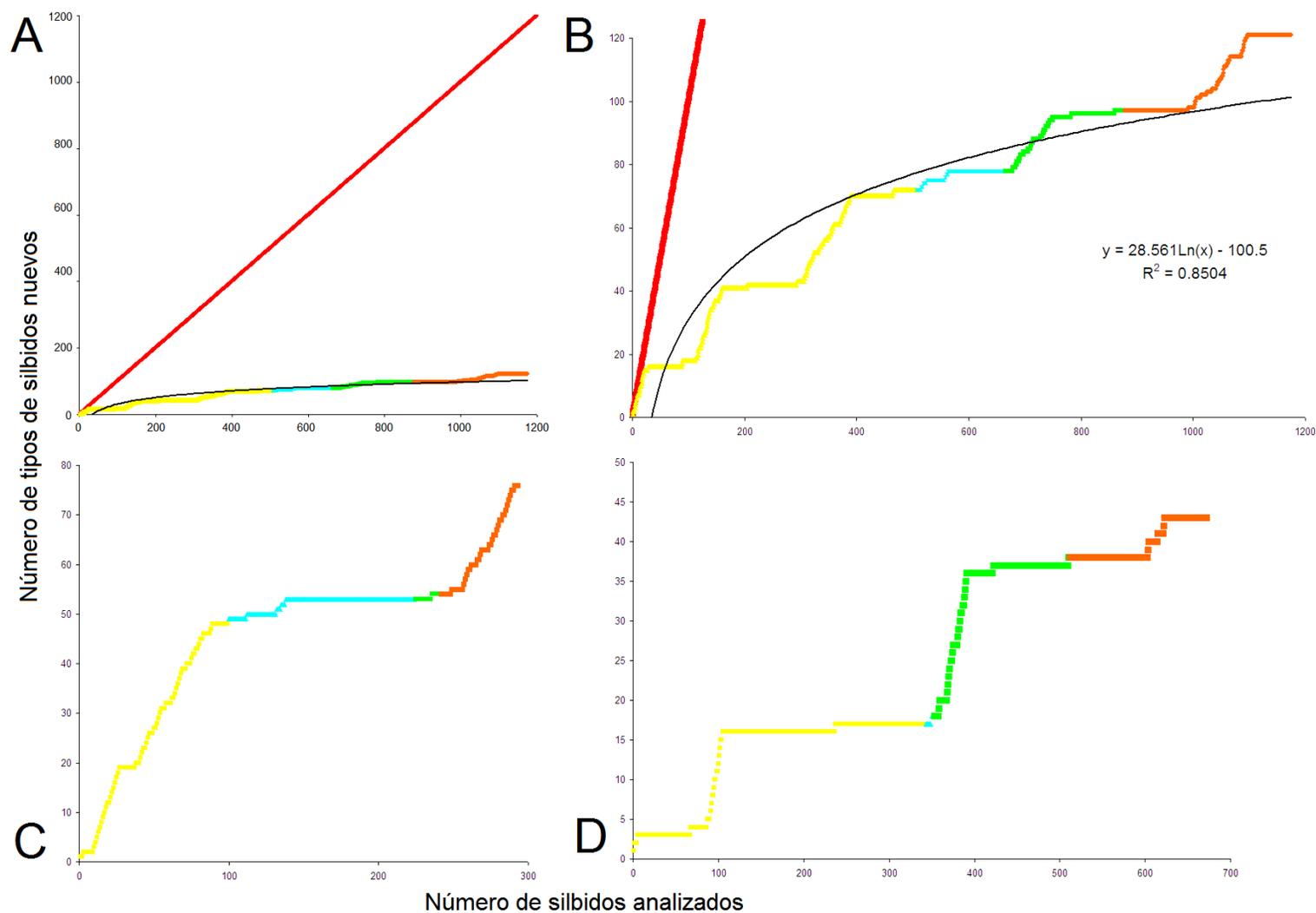


Figura 3.9. Curvas acumulativas para el delfinario 1: “Six Flags” del número de tipos de silbidos nuevos vs. el número de silbidos analizados determinados con la clasificación automatizada: (A) vista completa y (B) detalle de la curva acumulativa para los dos delfines (la línea roja con pendiente, $m=1$ representa un repertorio infinito), (C) delfín 1 y (D) delfín 2. Amarillo: estanque oval 1, azul: día del cambio de estanque, verde: estanque rectangular y naranja: estanque oval 2. Las líneas negras representan el ajuste logarítmico de los datos y se muestra su ecuación y valor de ajuste (R^2).

III.3.3. Uso de los silbidos Delfinario 1: “Six Flags”

Al analizar la ocurrencia de cada tipo de silbido obtenido con la clasificación manual, el contorno convexo-constante, Cxc (Tabla 3.6) fue el tipo de silbido de mayor ocurrencia; representó el 65.3% del total de silbidos grabados (Tabla 3.18, Fig. 3.10A) y ocurrió en todas las grabaciones con una alta tasa de emisión. De los 60 tipos de silbidos identificados, el 90.4% de los silbidos fueron únicamente de 14 tipos (Tabla 3.19). En general, el resto de los contornos convexo-constantes representaron el 7.0% del total de los silbidos grabados, los ascendentes el 7.0%, los constantes el 6.9%, los convexos el 5.6%, los sinusoidales el 3.9%, los descendentes el 2.5%, los cóncavos el 1.0% y los P el 0.8% (Tabla 3.18, Fig. 3.10A).

Al analizar la ocurrencia de cada tipo de silbido obtenido con la clasificación automatizada, los contornos convexo-constante 1 y 2, Cxc1 y Cxc2 (Fig. 3.15) fueron los tipos de silbidos de mayor ocurrencia; representaron entre los dos el 62.4% del total de los silbidos de buena calidad (Tabla 3.20, Fig. 3.10B). De los 121 tipos de silbidos identificados, para 15 tipos se tuvo una ocurrencia de al menos 8 silbidos (que son el 0.7% del total) y representaron el 78.1% de los silbidos de buena calidad. En general, el resto de los contornos convexo-constantes representaron el 9.5% del total de los silbidos de buena calidad, los ascendentes el 8.5%, los constantes el 5.1%, los convexos el 5.4%, los sinusoidales el 4.6%, los descendentes el 3.2% y los cóncavos el 1.3%.

Entonces, un número muy reducido de tipos de silbidos del repertorio obtenido con ambas clasificaciones concentraron el mayor número de silbidos (Tabla 3.18, 3.20, Fig. 3.10). Además, se encontró que un gran número de tipos de silbidos constaron de un solo silbido en ambas clasificaciones (Fig. 3.11). Esto indica que, aunque el repertorio de silbidos fue amplio, los delfines usaron muchísimo más un solo tipo de silbido considerando la clasificación manual (Fig. 3.12) o dos tipos de silbidos considerando la automatizada (Fig. 3.13).

Tabla 3.18. Ocurrencia de los distintos tipos de silbidos obtenidos con la clasificación manual para el delfinario 1: "Six Flags", mostrando los silbidos totales, los silbidos por delfín (D1 y D2) y los silbidos no adjudicados (NA). N = número de silbidos.

Tipo de silbido	N total	%	N acumulado	% acumulado	N D1	%	N D2	%	N NA	%
Cxc	892	65.3	892	65.3	157	50.5	664	88.7	71	23.3
C	66	4.8	958	70.2	21	6.8	13	1.7	32	10.5
As	53	3.9	1011	74.1	11	3.5	7	0.9	35	11.5
Cxoe	51	3.7	1062	77.8	28	9.0	4	0.5	19	6.2
Cxcoorto	34	2.5	1096	80.3		0.0	26	3.5	8	2.6
Cxde	27	2.0	1123	82.3	8	2.6	1	0.1	18	5.9
De	26	1.9	1149	84.2	9	2.9	2	0.3	15	4.9
Cx	17	1.2	1166	85.4	2	0.6	5	0.7	10	3.3
AsDe	16	1.2	1182	86.6	3	1.0	4	0.5	9	3.0
Asr	11	0.8	1193	87.4	3	1.0	1	0.1	7	2.3
P	11	0.8	1204	88.2	7	2.3	2	0.3	2	0.7
Asx	10	0.7	1214	88.9		0.0	1	0.1	9	3.0
Cv	10	0.7	1224	89.7	4	1.3	2	0.3	4	1.3
Cxov	10	0.7	1234	90.4	5	1.6	1	0.1	4	1.3
Asp	8	0.6	1242	91.0	6	1.9		0.0	2	0.7
Asv	7	0.5	1249	91.5	2	0.6		0.0	5	1.6
Cas	7	0.5	1256	92.0	6	1.9		0.0	1	0.3
Cv2r	7	0.5	1263	92.5	1	0.3	2	0.3	4	1.3
Cxb	7	0.5	1270	93.0	1	0.3	2	0.3	4	1.3
Cir	6	0.4	1276	93.5	1	0.3	2	0.3	3	1.0
Cxir	6	0.4	1282	93.9	2	0.6	1	0.1	3	1.0
Asir	5	0.4	1287	94.3	3	1.0	1	0.1	1	0.3
Cl	5	0.4	1292	94.7	1	0.3	1	0.1	3	1.0
Cvox	5	0.4	1297	95.0	3	1.0		0.0	2	0.7
Cx2r	5	0.4	1302	95.4	2	0.6		0.0	3	1.0
Cx2ras	5	0.4	1307	95.8	2	0.6	1	0.1	2	0.7
Cxas	5	0.4	1312	96.1	1	0.3	1	0.1	3	1.0
Cde	4	0.3	1316	96.4	1	0.3		0.0	3	1.0
Cxir	4	0.3	1320	96.7	1	0.3		0.0	3	1.0
Cb	3	0.2	1323	96.9		0.0		0.0	3	1.0
Cx2rasx	3	0.2	1326	97.1	3	1.0		0.0		0.0
Cxl	3	0.2	1329	97.4	2	0.6		0.0	1	0.3
Deirte	3	0.2	1332	97.6	2	0.6		0.0	1	0.3
Asc	2	0.1	1334	97.7	2	0.6		0.0		0.0
Cv2rAs	2	0.1	1336	97.9	2	0.6		0.0		0.0
Cyb	2	0.1	1338	98.0	1	0.3		0.0	1	0.3
Cx3r	2	0.1	1340	98.2	1	0.3	1	0.1		0.0
Cxcb	2	0.1	1342	98.3	2	0.6		0.0		0.0
Del	2	0.1	1344	98.5		0.0		0.0	2	0.7
AsCAsirr	1	0.1	1345	98.5		0.0		0.0	1	0.3
AsCvas	1	0.1	1346	98.6		0.0		0.0	1	0.3
Asxcx	1	0.1	1347	98.7	1	0.3		0.0		0.0
Casl	1	0.1	1348	98.8	1	0.3		0.0		0.0
Cdec	1	0.1	1349	98.8	1	0.3		0.0		0.0
Cp	1	0.1	1350	98.9		0.0	1	0.1		0.0
Cvccvode	1	0.1	1351	99.0		0.0		0.0	1	0.3
CvDe	1	0.1	1352	99.0		0.0		0.0	1	0.3
Cvde	1	0.1	1353	99.1	1	0.3		0.0		0.0
Cvir	1	0.1	1354	99.2		0.0		0.0	1	0.3
Cxasir	1	0.1	1355	99.3		0.0	1	0.1		0.0
Cxocx	1	0.1	1356	99.3		0.0		0.0	1	0.3
Cxodes	1	0.1	1357	99.4		0.0		0.0	1	0.3
Cxoeas	1	0.1	1358	99.5		0.0		0.0	1	0.3
Cxoccx	1	0.1	1359	99.6		0.0	1	0.1		0.0
Cxdasx	1	0.1	1360	99.6	1	0.3		0.0		0.0
Cxdecir	1	0.1	1361	99.7		0.0	1	0.1		0.0
Cxdscx	1	0.1	1362	99.8		0.0		0.0	1	0.3
Dec	1	0.1	1363	99.9		0.0		0.0	1	0.3
Deciras	1	0.1	1364	99.9		0.0		0.0	1	0.3
Dep	1	0.1	1365	100.0		0.0		0.0	1	0.3
TOTAL	1365	100.0			311	100.0	749	100.0	305	100.0
# tipos de silbidos	60				40		27		46	

Tabla 3.19. Espectrogramas de los 14 tipos de silbidos más usados por ambos delfines del delfinario 1: “Six Flags” obtenidos con la clasificación manual (que representan el 90% de los silbidos emitidos).

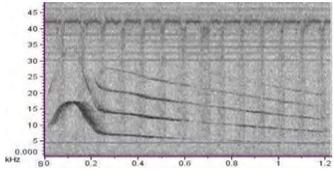
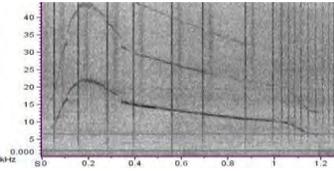
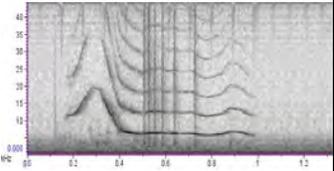
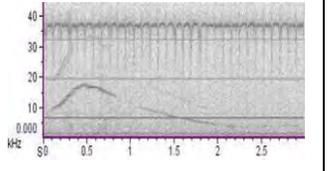
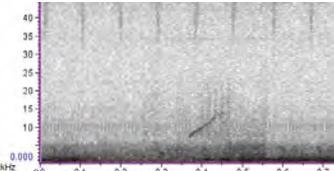
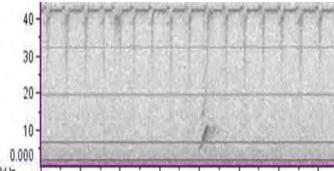
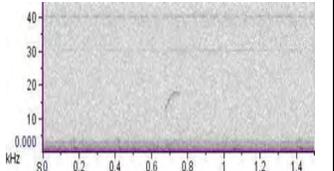
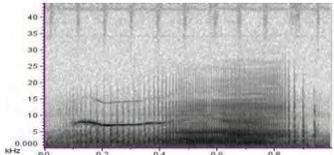
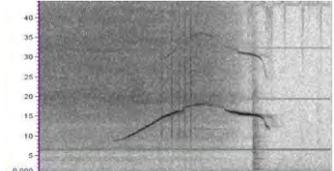
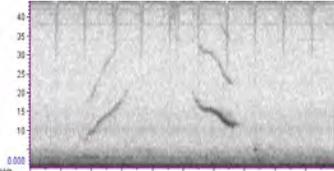
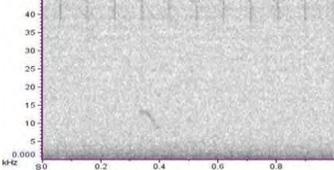
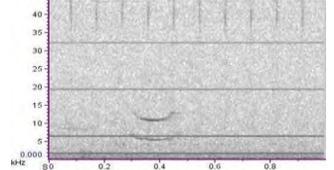
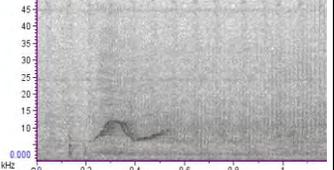
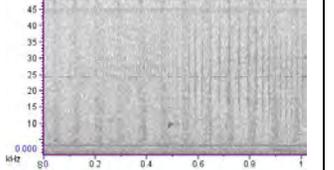
<p>Contornos convexo-constantes (Cxc) – incluyendo los contornos convexo-constante escalonado (Cxce), convexo-constante corto (Cxccorto) y convexo-constante descendente (Cxcde)</p>	<p>1.-Cxc</p> 	<p>2.-Cxce</p> 	<p>3.-Cxccorto</p> 	<p>4.-Cxcde</p> 
<p>Contornos ascendentes (As) – incluyendo los contornos ascendente (As), ascendente-regular (Asr) y ascendente-convexo (Asx)</p>	<p>5.-As</p> 	<p>6.-Asr</p> 	<p>7.-Asx</p> 	
<p>Contornos constantes (C)– incluyendo el contorno constante (C)</p>	<p>8.-C</p> 			
<p>Contornos convexos (Cx) – incluyendo los contornos convexo (Cx) y ascendente-descendente (AsDe)</p>	<p>9.-Cx</p> 	<p>10.-AsDe</p> 		
<p>Otros contornos – incluyendo los contornos descendente (De), cóncavo (Cv), múltiple: convexo-cóncavo (Cxcv) y punto (P)</p>	<p>11.-De</p> 	<p>12.-Cv</p> 	<p>13.-Cxcv</p> 	<p>14.-P</p> 

Tabla 3.20. Ocurrencia de los distintos tipos de silbidos obtenidos con la clasificación automatizada para el delfinario 1: "Six Flags", mostrando los silbidos totales, los silbidos por delfín (D1 y D2) y los silbidos no adjudicados (NA). N = número de silbidos.

Tipo de silbido	N total	%	N acumulado	% acumulado	N D1	%	N D2	%	N NA	%
Cxc2	585	49.8	585	49.8		0.0	585	86.7		0.0
Cxc1	147	12.5	732	62.4	147	50.3		0.0		0.0
Cxc*7	30	2.6	762	64.9	15	5.1	2	0.3	13	6.3
Cxc*1	22	1.9	784	66.8	9	3.1	1	0.1	12	5.8
Cxccorto1	22	1.9	806	68.7		0.0	19	2.8	3	1.4
Cx2	19	1.6	825	70.3	1	0.3	11	1.6	7	3.4
As11	14	1.2	839	71.5		0.0	1	0.1	13	6.3
As8	12	1.0	851	72.5	3	1.0	1	0.1	8	3.9
Cx3	12	1.0	863	73.5	4	1.4	2	0.3	6	2.9
As9	11	0.9	874	74.4	1	0.3	1	0.1	9	4.3
Mult3	11	0.9	885	75.4	1	0.3	2	0.3	8	3.9
As1	8	0.7	893	76.1	4	1.4	3	0.4	1	0.5
As3	8	0.7	901	76.7	4	1.4		0.0	4	1.9
Cx7	8	0.7	909	77.4	2	0.7	3	0.4	3	1.4
De2	8	0.7	917	78.1	2	0.7	1	0.1	5	2.4
As4	7	0.6	924	78.7	2	0.7	1	0.1	4	1.9
De3	7	0.6	931	79.3	2	0.7		0.0	5	2.4
De4	7	0.6	938	79.9	3	1.0		0.0	4	1.9
As10	6	0.5	944	80.4	2	0.7		0.0	4	1.9
C4	6	0.5	950	80.9		0.0	2	0.3	4	1.9
C6	6	0.5	956	81.4	2	0.7	1	0.1	3	1.4
Cxc*9	6	0.5	962	81.9	3	1.0		0.0	3	1.4
Cxccorto6	6	0.5	968	82.5		0.0	4	0.6	2	1.0
Mult11	6	0.5	974	83.0	3	1.0		0.0	3	1.4
As16	5	0.4	979	83.4	1	0.3		0.0	4	1.9
C12	5	0.4	984	83.8	2	0.7	1	0.1	2	1.0
C13	5	0.4	989	84.2	1	0.3	1	0.1	3	1.4
Cv1	5	0.4	994	84.7	1	0.3	1	0.1	3	1.4
Cv2	5	0.4	999	85.1	5	1.7		0.0		0.0
Cx4	5	0.4	1004	85.5	2	0.7		0.0	3	1.4
Cxc*3	5	0.4	1009	85.9	2	0.7		0.0	3	1.4
Mult5	5	0.4	1014	86.4	3	1.0	1	0.1	1	0.5
As2	4	0.3	1018	86.7	2	0.7		0.0	2	1.0
C1	4	0.3	1022	87.1		0.0	3	0.4	1	0.5
C10	4	0.3	1026	87.4	3	1.0		0.0	1	0.5
C18	4	0.3	1030	87.7	2	0.7		0.0	2	1.0
C5	4	0.3	1034	88.1	1	0.3		0.0	3	1.4
C8	4	0.3	1038	88.4	1	0.3	1	0.1	2	1.0
Cx5	4	0.3	1042	88.8		0.0		0.0	4	1.9
Mult14	4	0.3	1046	89.1	2	0.7	2	0.3		0.0
Mult2	4	0.3	1050	89.4	2	0.7		0.0	2	1.0
As13	3	0.3	1053	89.7	3	1.0		0.0		0.0
As17	3	0.3	1056	89.9	1	0.3	1	0.1	1	0.5
As20	3	0.3	1059	90.2		0.0	1	0.1	2	1.0
As7	3	0.3	1062	90.5	1	0.3		0.0	2	1.0
C19	3	0.3	1065	90.7	1	0.3		0.0	2	1.0
C7	3	0.3	1068	91.0	1	0.3	2	0.3		0.0
Cx13	3	0.3	1071	91.2	2	0.7	1	0.1		0.0
Cxc*4	3	0.3	1074	91.5	2	0.7	1	0.1		0.0
Cxc*6	3	0.3	1077	91.7	3	1.0		0.0		0.0
Cxccorto4	3	0.3	1080	92.0		0.0	2	0.3	1	0.5
De1	3	0.3	1083	92.2		0.0		0.0	3	1.4
De7	3	0.3	1086	92.5		0.0		0.0	3	1.4
Mult18	3	0.3	1089	92.8	3	1.0		0.0		0.0
Mult21	3	0.3	1092	93.0	1	0.3	1	0.1	1	0.5
As14	2	0.2	1094	93.2	1	0.3	1	0.1		0.0
As15	2	0.2	1096	93.4	2	0.7		0.0		0.0
C14	2	0.2	1098	93.5	1	0.3		0.0	1	0.5
C2	2	0.2	1100	93.7		0.0	2	0.3		0.0
C9	2	0.2	1102	93.9	1	0.3	1	0.1		0.0
Cx1	2	0.2	1104	94.0	1	0.3		0.0	1	0.5
Cx12	2	0.2	1106	94.2		0.0		0.0	2	1.0

Tabla 3.20cont. Ocurrencia de los distintos tipos de silbidos obtenidos con la clasificación automatizada para el delfinario 1: "Six Flags", mostrando los silbidos totales, los silbidos por delfín (D1 y D2) y los silbidos no adjudicados (NA). N = número de silbidos.

Tipo de silbido	N total	%	N acumulado	% acumulado	N D1	%	N D2	%	N NA	%
Cx6	2	0.2	1108	94.4		0.0		0.0	2	1.0
Cxc ² 5	2	0.2	1110	94.5		0.0		0.0	2	1.0
Cxc ² 8	2	0.2	1112	94.7		0.0		0.0	2	1.0
Cxccorto2	2	0.2	1114	94.9	1	0.3	1	0.1		0.0
De6	2	0.2	1116	95.1	1	0.3		0.0	1	0.5
De8	2	0.2	1118	95.2		0.0	2	0.3		0.0
Mult1	2	0.2	1120	95.4	2	0.7		0.0		0.0
Mult13	2	0.2	1122	95.6		0.0		0.0	2	1.0
Mult9	2	0.2	1124	95.7	1	0.3		0.0	1	0.5
As12	1	0.1	1125	95.8		0.0		0.0	1	0.5
As18	1	0.1	1126	95.9		0.0		0.0	1	0.5
As19	1	0.1	1127	96.0	1	0.3		0.0		0.0
As21	1	0.1	1128	96.1	1	0.3		0.0		0.0
As22	1	0.1	1129	96.2	1	0.3		0.0		0.0
As23	1	0.1	1130	96.3	1	0.3		0.0		0.0
As24	1	0.1	1131	96.3	1	0.3		0.0		0.0
As5	1	0.1	1132	96.4	1	0.3		0.0		0.0
As6	1	0.1	1133	96.5		0.0	1	0.1		0.0
C11	1	0.1	1134	96.6	1	0.3		0.0		0.0
C15	1	0.1	1135	96.7	1	0.3		0.0		0.0
C16	1	0.1	1136	96.8		0.0	1	0.1		0.0
C17	1	0.1	1137	96.8	1	0.3		0.0		0.0
C20	1	0.1	1138	96.9	1	0.3		0.0		0.0
C3	1	0.1	1139	97.0		0.0	1	0.1		0.0
Cv3	1	0.1	1140	97.1	1	0.3		0.0		0.0
Cv4	1	0.1	1141	97.2		0.0		0.0	1	0.5
Cv5	1	0.1	1142	97.3		0.0		0.0	1	0.5
Cv6	1	0.1	1143	97.4	1	0.3		0.0		0.0
Cv7	1	0.1	1144	97.4		0.0		0.0	1	0.5
Cx10	1	0.1	1145	97.5		0.0		0.0	1	0.5
Cx11	1	0.1	1146	97.6		0.0		0.0	1	0.5
Cx14	1	0.1	1147	97.7		0.0		0.0	1	0.5
Cx15	1	0.1	1148	97.8		0.0	1	0.1		0.0
Cx8	1	0.1	1149	97.9	1	0.3		0.0		0.0
Cx9	1	0.1	1150	98.0	1	0.3		0.0		0.0
Cxc ² 2	1	0.1	1151	98.0		0.0		0.0	1	0.5
Cxccorto3	1	0.1	1152	98.1		0.0	1	0.1		0.0
Cxccorto5	1	0.1	1153	98.2		0.0	1	0.1		0.0
Cxccorto7	1	0.1	1154	98.3	1	0.3		0.0		0.0
Cxccorto8	1	0.1	1155	98.4		0.0		0.0	1	0.5
Cxccorto9	1	0.1	1156	98.5		0.0	1	0.1		0.0
De10	1	0.1	1157	98.6		0.0	1	0.1		0.0
De11	1	0.1	1158	98.6		0.0		0.0	1	0.5
De12	1	0.1	1159	98.7		0.0		0.0	1	0.5
De13	1	0.1	1160	98.8		0.0		0.0	1	0.5
De5	1	0.1	1161	98.9		0.0	1	0.1		0.0
De9	1	0.1	1162	99.0	1	0.3		0.0		0.0
Mult10	1	0.1	1163	99.1	1	0.3		0.0		0.0
Mult12	1	0.1	1164	99.1	1	0.3		0.0		0.0
Mult15	1	0.1	1165	99.2		0.0		0.0	1	0.5
Mult16	1	0.1	1166	99.3	1	0.3		0.0		0.0
Mult17	1	0.1	1167	99.4	1	0.3		0.0		0.0
Mult19	1	0.1	1168	99.5		0.0		0.0	1	0.5
Mult20	1	0.1	1169	99.6		0.0		0.0	1	0.5
Mult22	1	0.1	1170	99.7	1	0.3		0.0		0.0
Mult4	1	0.1	1171	99.7		0.0		0.0	1	0.5
Mult6	1	0.1	1172	99.8	1	0.3		0.0		0.0
Mult7	1	0.1	1173	99.9	1	0.3		0.0		0.0
Mult8	1	0.1	1174	100.0		0.0		0.0	1	0.5
TOTAL	1174	100.0			292	100.0	675	100.0	207	100.0
# tipos de silbidos	121				76		45		72	

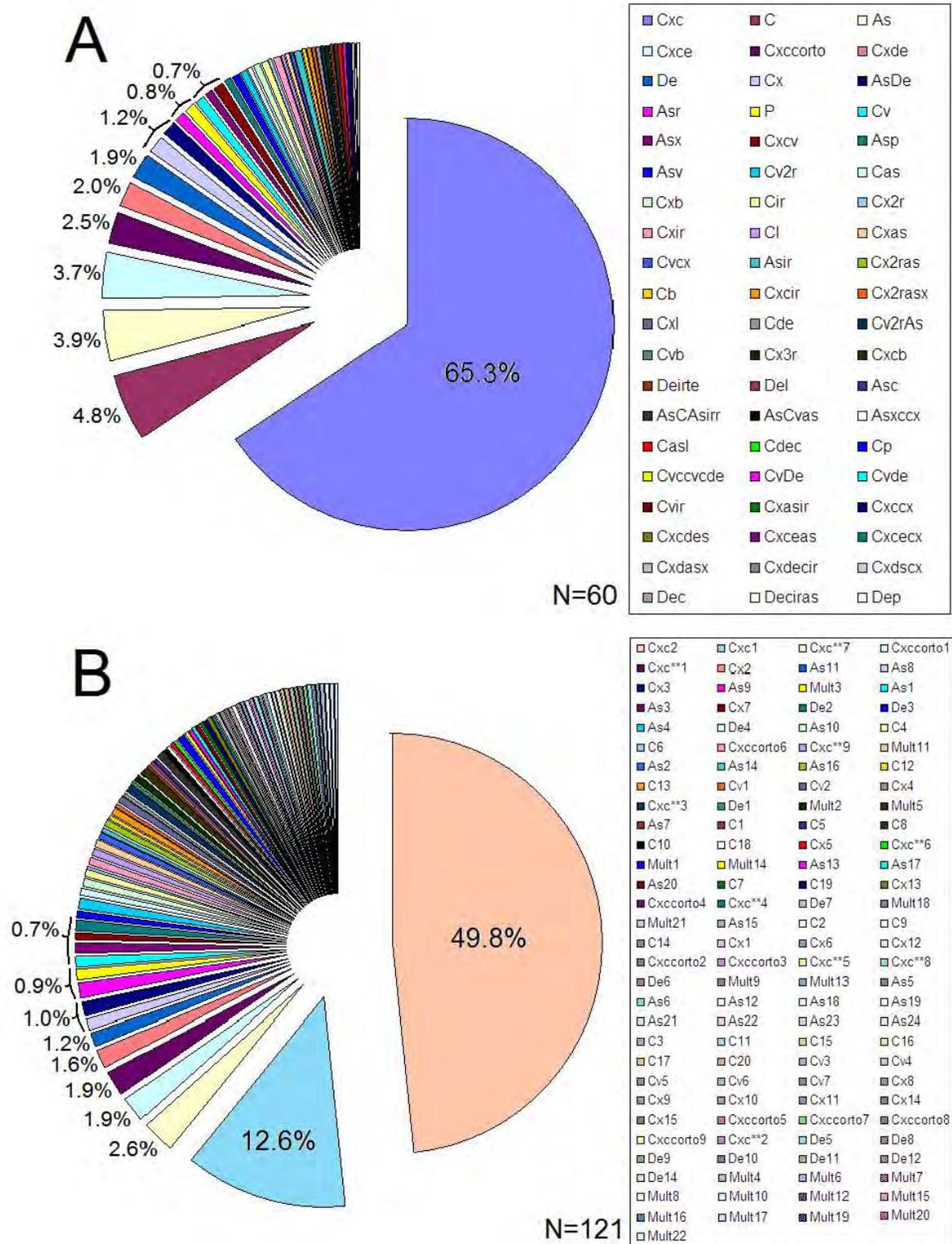


Figura 3.10. Ocurrencia de los distintos tipos de silbidos del delfinario 1: “Six Flags” determinados con las clasificaciones (A) manual y (B) automatizada, mostrando el porcentaje para los tipos de silbidos que representaron más del 0.7% del total de los silbidos (u 8 silbidos, 14 tipos para la clasificación manual y 15 tipos para la clasificación automatizada). N = número de tipos de silbidos para cada clasificación.

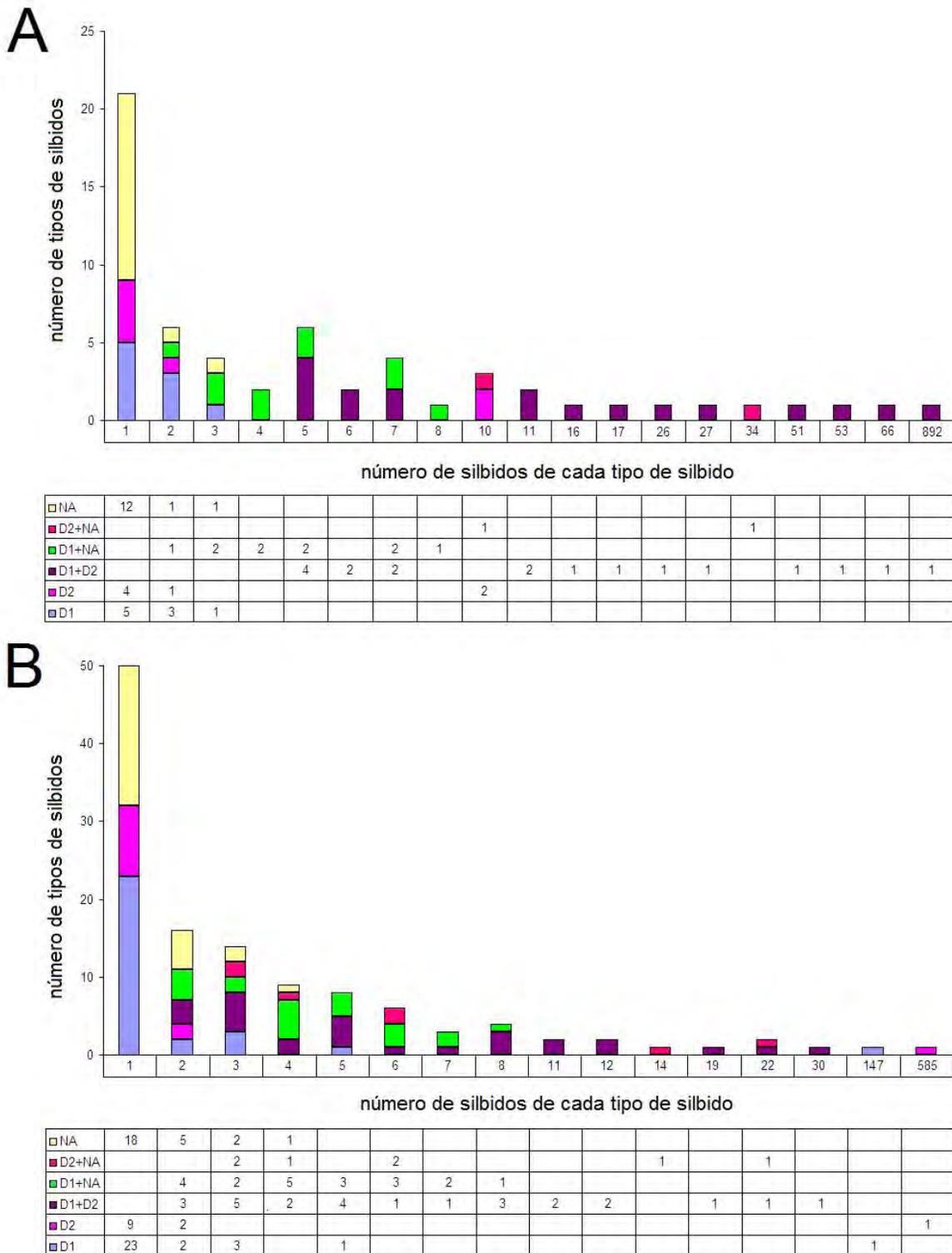


Figura 3.11. Cantidad de silbidos de cada tipo de silbido contra el número de tipo de silbidos que tienen esa cantidad de silbidos de acuerdo al delfín al que fue adjudicado el silbido (delfín 1=D1 y delfín 2=D2) y mostrando los silbidos no adjudicados (NA) para los distintos tipos de silbidos determinados con las clasificaciones (A) manual y (B) automatizada del delfinario 1: “Six Flags”.

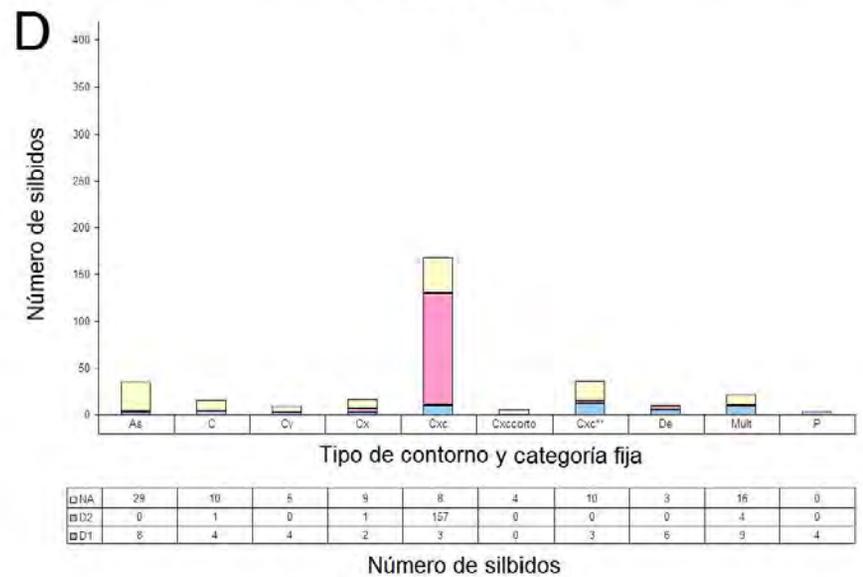
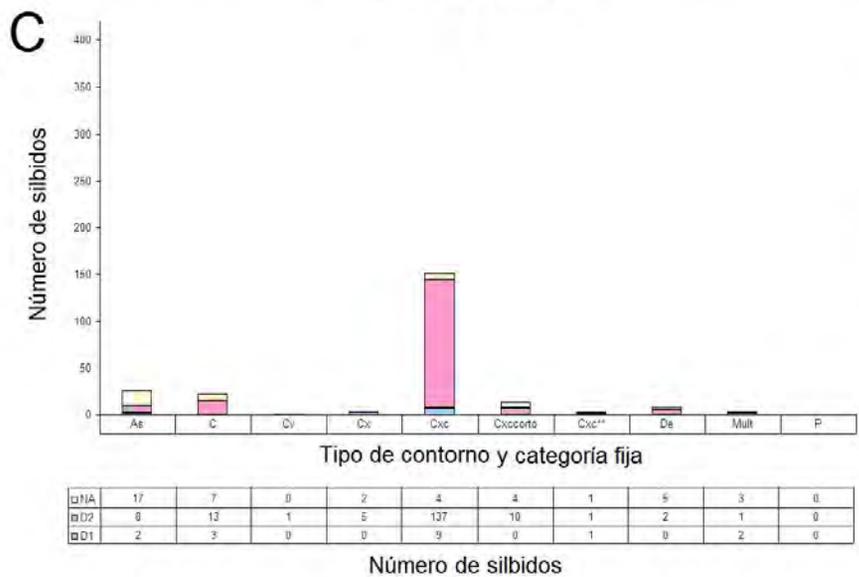
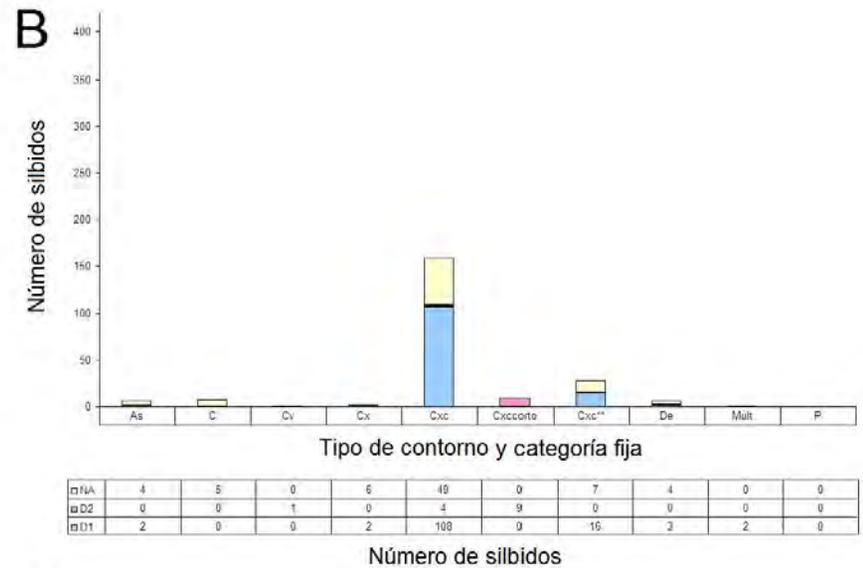
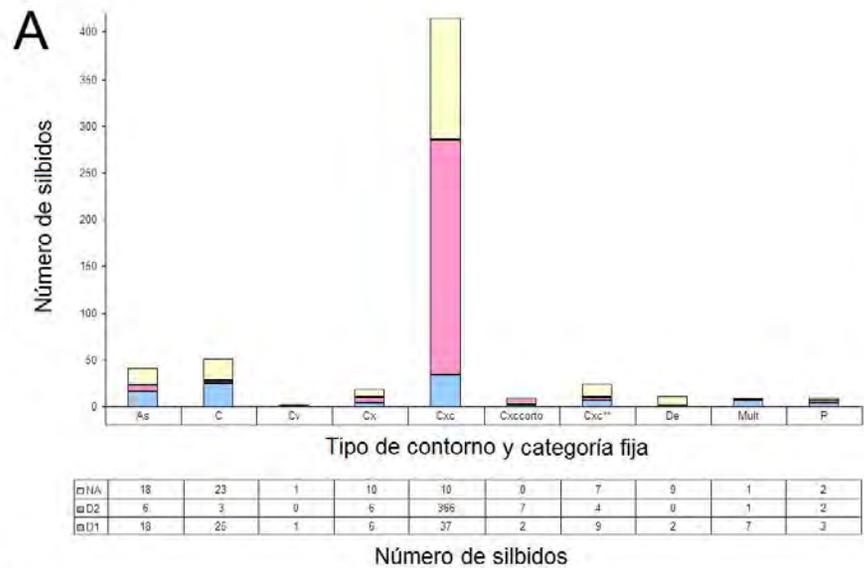


Figura 3.12. Cantidad de silbidos de cada tipo y categoría fija de contorno de la clasificación manual en (A) el estanque oval 1, (B) durante el cambio de estanque, (C) en el estanque rectangular y (D) en el estanque oval 2 del delfinario 1: “Six Flags”. Cxc**=otros contornos convexo-constant.

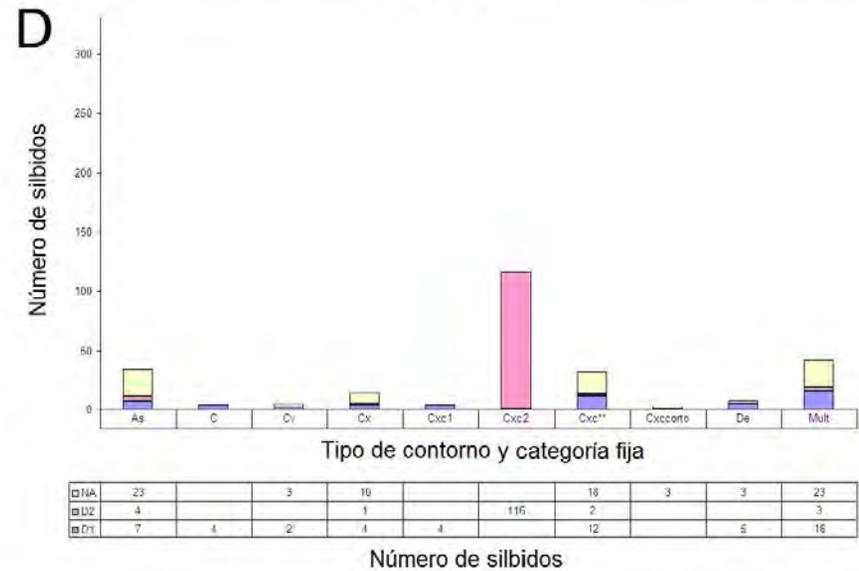
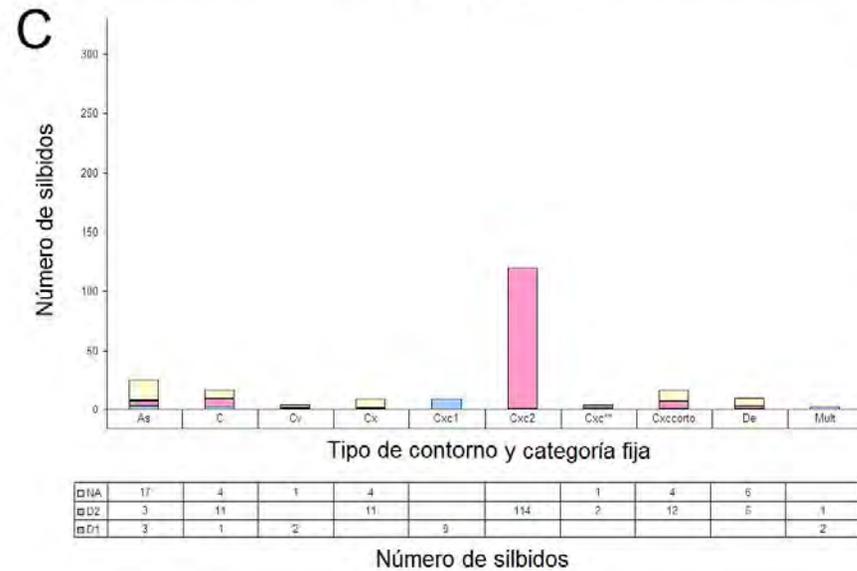
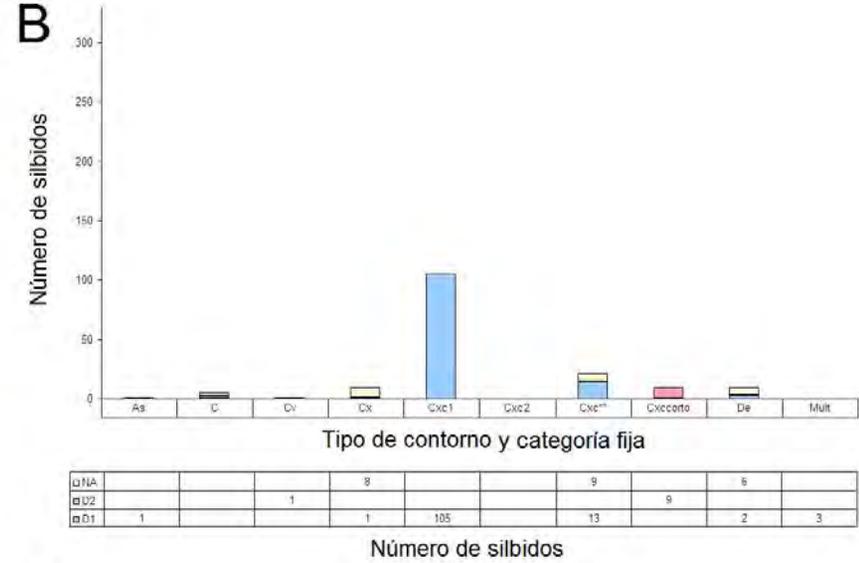
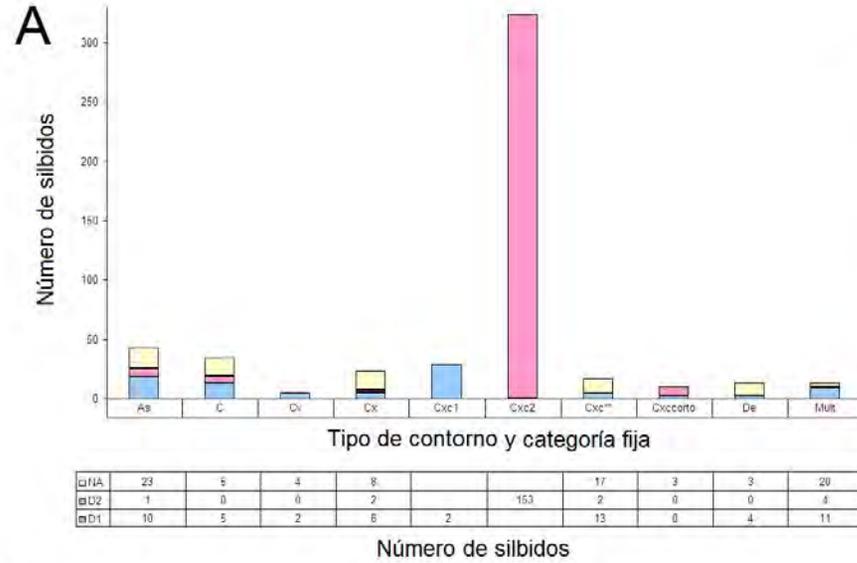


Figura 3.13. Cantidad de silbidos de cada tipo y categoría fija de contorno de la clasificación automatizada en (A) el estanque oval 1, (B) durante el cambio de estanque, (C) en el estanque rectangular y (D) en el estanque oval 2 del delfinario 1: “Six Flags”. Cxc**=otros contornos convexo-constant.

Al comparar el uso de los silbidos entre delfines, de los 60 tipos de silbidos identificados con la clasificación manual, para el delfín 1 el 89.1% de los silbidos fueron únicamente de 16 tipos y para el delfín 2 el 93.9% de los silbidos fueron únicamente de 3 tipos (Tabla 3.18, Fig. 3.10). De los 121 tipos de silbidos identificados con la clasificación automatizada, para el delfín 1 el 85.3% de los silbidos fueron de 33 tipos y para el delfín 2 el 91.1% de los silbidos fueron de 3 tipos (Tabla 3.18, Fig. 3.10). Entonces, el delfín 1 emitió más tipos de silbidos que el delfín 2.

Sin embargo, ambos delfines usaron mucho más un solo tipo de silbido, el contorno Cxc (Tabla 3.19, Fig. 3.10), que representó el 50.5% y 50.3% de los silbidos del delfín 1 y el 88.7% y 86.7% para el delfín 2 para las clasificaciones manual y automatizada, respectivamente (Tabla 3.18, 3.19, Fig. 3.11, 3.14).

El resto de los contornos convexo-constantemente representaron para el delfín 1 con la clasificación manual el 10.1% del total de sus silbidos, los constantes el 10.3%, los ascendentes el 8.6%, los sinusoidales el 7.4%, los convexos el 5.8%, los descendentes el 3.5%, los P el 2.2% y los cóncavos el 1.6% (Fig. 3.14A). Con la clasificación automatizada para el delfín 1, el resto de los contornos convexo-constantemente representaron el 12.4%, los ascendentes el 11.1%, los sinusoidales el 8.6%, los constantes el 6.9%, los convexos el 4.8%, los descendentes el 3.1% y los cóncavos el 2.8% (Fig. 3.14B).

Para el delfín 2 con la clasificación manual, el resto de los contornos convexo-constantemente representaron el 4.1% del total de sus silbidos, los constantes el 2.3%, los convexos el 1.9%, los ascendentes el 1.3%, los sinusoidales el 0.9%, los descendentes el 0.3%, los cóncavos el 0.3% y los P el 0.2% (Fig. 3.14A). Con la clasificación automatizada para el delfín 2, el resto de los contornos convexo-constantemente representaron el 4.9%, los convexos el 2.7%, los constantes el 2.4%, los ascendentes el 1.6%, los sinusoidales el 0.9%, los descendentes el 0.7% y los cóncavos el 0.1% (Fig. 3.14B).

Para comprobar estadísticamente estas diferencias en el uso del repertorio entre delfines se aplicó una prueba de X^2 , encontrándose diferencias significativas con una $p=0.001$ entre ambos delfines para ambas clasificaciones (Tabla 3.21). Esto indica que, aunque los delfines usaron muchísimo más un solo tipo de silbido, el resto de su repertorio fue diferente y lo usaron de manera distinta.

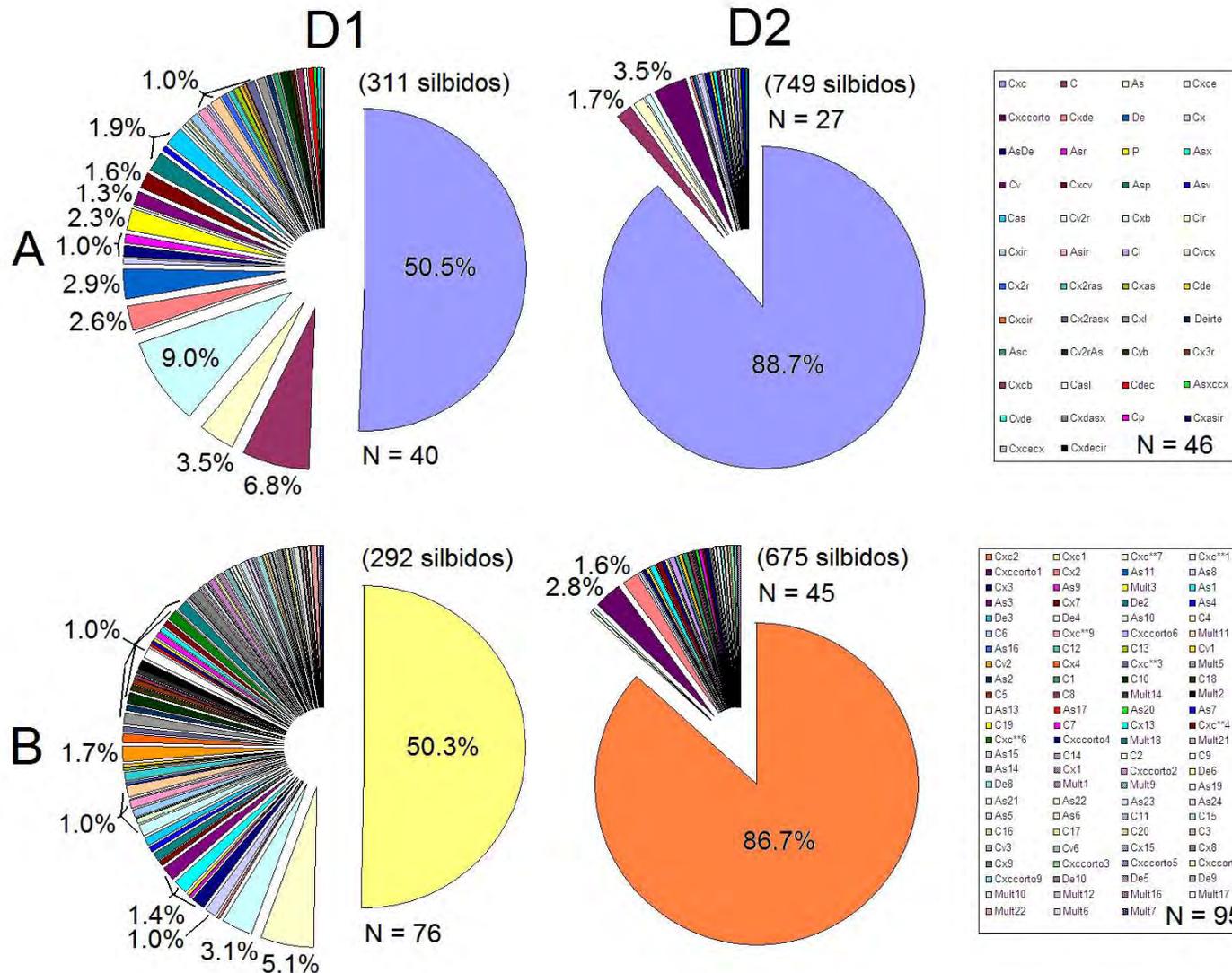


Figura 3.14. Ocurrencia de los distintos tipos de silbidos para los delfines 1 y 2 (D1 y D2, respectivamente) del delfinario 1: “Six Flags” determinados con las clasificaciones (A) manual y (B) automatizada, mostrando el porcentaje para los tipos de silbidos que representaron más del 1.0% del total de los silbidos del repertorio individual (16 tipos para D1 y 3 para D2 con la clasificación manual y 16 tipos para D1 y 3 para D2 con la clasificación automatizada). N = número de tipos de silbidos.

Tabla 3.21. Resultados de la prueba de X^2 de la comparación del número de silbidos de cada tipo emitidos por cada delfín del delfinario 1: "Six Flags" de acuerdo a la clasificación utilizada.

X^2 Clasificación manual	delfín 2	X^2 TABLA p=0.001
delfín 1	200.64*	67.99
X^2 Clasificación automatizada	delfín 2	X^2 TABLA p=0.001
delfín 1	835.92*	62.49

Cuando se analizó la ocurrencia de silbidos de acuerdo al estanque que ocupaban los delfines, se observó que los delfines no usaron todos los silbidos del repertorio de igual manera durante todo el muestreo (Tabla 3.22, 3.23). Para el repertorio manual (Tabla 3.22, Fig. 3.12), en el estanque oval 1 se registraron 587 silbidos de 38 tipos: 110 silbidos de 26 tipos por el delfín 1, 395 silbidos de 13 tipos por el delfín 2 y otros 82 silbidos no adjudicados de 24 tipos. En el día del cambio de estanque se registraron 217 silbidos de 12 tipos: 131 silbidos de 6 tipos por el delfín 1, 14 silbidos de 3 tipos por el delfín 2 y otros 72 silbidos no adjudicados de 8 tipos. En el estanque rectangular se registraron 232 silbidos de 27 tipos: 17 silbidos de 8 tipos por el delfín 1, 174 silbidos de 14 tipos por el delfín 2 y otros 41 silbidos no adjudicados de 17 tipos. Cuando los delfines regresaron al estanque oval se registraron 329 silbidos de 36 tipos: 53 silbidos de 22 tipos por el delfín 1, 166 silbidos de 10 tipos por el delfín 2 y otros 110 silbidos no adjudicados de 29 tipos.

Para el repertorio automatizado (Tabla 3.23, Fig. 3.13), en el estanque oval 1 se registraron 505 silbidos de 73 tipos: 97 silbidos de 47 tipos por el delfín 1, 344 silbidos de 18 tipos por el delfín 2 y otros 64 silbidos no adjudicados de 38 tipos. En el día del cambio de estanque se registraron 158 silbidos de 17 tipos: 125 silbidos de 10 tipos por el delfín 1, 10 silbidos de 2 tipos por el delfín 2 y otros 23 silbidos no adjudicados de 9 tipos. En el estanque de rectangular se registraron 213 silbidos de 44 tipos: 17 silbidos de 7 tipos por el delfín 1, 157 silbidos de 24 tipos por el delfín 2 y otros 37 silbidos no adjudicados de 22 tipos. Cuando los delfines regresaron al estanque oval se registraron 298 silbidos de 64 tipos: 53 silbidos de 39 tipos por el delfín 1, 162 silbidos de 9 tipos por el delfín 2 y otros 83 silbidos no adjudicados de 34 tipos.

Tabla 3.22. Ocurrencia de los distintos tipos de silbidos obtenidos con la clasificación manual cuando los delfines del delfinario 1: "Six Flags" cambiaron de estanque (oval 1, cambio de estanque, rectangular y oval 2), mostrando los silbidos por delfín (D1 y D2) y los no adjudicados (NA).

Tipo de silbido	Estanque															
	oval 1				cambio de estanque				rectangular				oval 2			
	D1	D2	NA	SUBTOTAL	D1	D2	NA	SUBTOTAL	D1	D2	NA	SUBTOTAL	D1	D2	NA	SUBTOTAL
Cxc	37	366	10	413	108	4	49	161	9	137	4	150	3	157	3	168
C	17	3	17	37			5	5	1	10	5	16	3		5	8
As	7	4	3	14			7	23	1	3	7	10	4		25	29
Cxce	9	3	6	18	16		7	23	1	1	1	3	2		5	7
Cxcoorto		7		7		9		9		10	4	14			4	4
Cxde			3	3			1	1					8	1	14	23
De	2		7	9	2		4	6		2	2	4	5		2	7
Cx	1	3	4	8			1	1		1		1	1	1	5	7
AsDe	1		2	3	2		4	6		4	2	6			1	1
Asr	3	1	3	7							3	3			1	1
P	3	2	2	7									4			4
Asx		1	2	3							5	5			2	2
Cv	1			1		1		1		1		1	3		4	7
Cxov													5	1	4	10
Asp	4		2	6									2			2
Asv	2		5	7												
Cas	4			4					2		1	3				
Cv2r										1		1	1	1	4	6
Cxb		2	1	3									1	1	3	4
Cir			2	2						1		1	1	1	1	3
Cxir	2	1	2	5			1	1								
Asir			1	1					1	1		2	2			2
Cl	1		2	3						1		1			1	1
Cvcx			1	1	2			2					1		1	2
Cx2r	2			2											3	3
Cx2ras													2	1	2	5
Cxas													1	1	3	5
Cde	1			1									1		3	3
Cxcir													1		3	4
Cb			2	2							1	1				
Cx2rasx	2			2					1			1				
Cxl	2		1	3												
Deirte					1			1					1		1	2
Asc	1			1					1			1				
Cv2ras	2			2									1			1
Cvb			1	1												
Cx3r	1	1		2												
Cxob	2			2												
Del			2	2												
AsCAsirr															1	1
AsCvas											1	1				
Asxocx									1			1				
Casl	1			1												
Cdec	1			1												
Cp										1		1				
Cvccvde															1	1
CvDe											1	1				
Cvde													1			1
Cvir															1	1
Cxasir															1	1
Cxocx			1	1												
Cxdes															1	1
Cxceas															1	1
Cxocx		1		1												
Cxdasx																
Cxdecir	1			1												
Cxdsox											1	1				
Dec											1	1				
Deciras											1	1				
Dep											1	1				
TOTAL	110	395	82	587	131	14	72	217	17	174	41	232	53	166	110	329
# tipos de silbidos	26	13	24	38	6	3	8	12	8	14	17	27	22	10	29	36
TIPOS DE SILBIDOS																
exclusivos	11	2	8		2	2	3		3	6	9		5	2	12	
D1 D2	9				1				4				8			
D1 NA	6				4				1				9			
D2 NA	2							12	4							
				38								27				36

Tabla 3.23. Ocurrencia de los distintos tipos de silbidos obtenidos con la clasificación automatizada cuando los delfines del delfinario 1: "Six Flags" cambiaron de estanque (oval 1, cambio de estanque, rectangular y oval 2), mostrando los silbidos por delfín (D1 y D2) y los no adjudicados (NA).

Tipo de silbido	Estanque															
	oval 1				cambio de estanque				rectangular				oval 2			
	D1	D2	NA	SUBTOTAL	D1	D2	NA	SUBTOTAL	D1	D2	NA	SUBTOTAL	D1	D2	NA	SUBTOTAL
Cxc2		318		318						114		114	153			153
Cxc1	31			31	105			105	9			9	2			2
Cxc*7	3			3	10		7	17		2		2	2		8	8
Cxc*11	1		1	2									8	1	11	20
Cxcoorto1		3		3		9		9		7	2	9			1	1
Cx2	1		3	4			3	3		11	1	12				
As11										1	6	7			7	7
As8	1			1					2	1		3			8	8
Cx3	2	1	2	5	1		3	4					1	1	1	3
As9			3	3						1	6	7	1			1
Mult3			1	1									1	2	7	10
As1	2	3	1	6					1			1	1			1
As3	4		3	7											1	1
Cx7	1	3	1	5			1	1			1	1	1			1
De2	2		2	4			1	1		1	1	2			1	1
As4	2	1	1	4							3	3				
De3			1	1	1		4	5								1
De4	1		1	2							1	1	2		2	4
As10	1			1							1	1	1		3	4
C4										2	2	4			2	2
C6	2	1	2	5							1	1				
Cxc*9	1		1	2	2		2	4								
Cxcoorto6		4		4											2	2
Mult11			1	1									3		2	5
As16			3	3									1		1	2
C12	1		2	3						1		1	1			1
C13			3	3						1		1	1			1
Cv1						1		1			1	1	1		2	3
Cv2	3			3					2			2	1			
Cx4	1			1									1		3	4
Cxc*3	1		3	4									1			1
Mult5	2	1		3					1			1			1	1
As2	2			2											2	2
C1										3		3			1	1
C10	2		1	3									1			1
C18	2		2	4												
C5											1	1	1		2	3
C8	1		2	3						1		1				
Cx5							1	1							3	3
Mult14	1			1					1	1		2		1		1
Mult2					1			1					1		2	3
As13	2			2									1			1
As17			1	1									1	1		2
As20		1	2	3												
As7	1		2	3												
C19	1		2	3												
C7	1	1		2						1		1				
Cx13	1	1		2									1			1
Cxc*4													2	1		3
Cxc*6	2			2	1			1								
Cxcoorto4										2	1	3				
De1			2	2			1	1								
De7			2	2							1	1				
Mult18	3			3												
Mult21													1	1	1	3
As14	1	1		2												
As15													2			2
C14	1		1	2												
C2		1		1						1		1				
C9	1	1		2												
Cx1			1	1									1			1
Cx12											2	2				
Cx6			2	2												
Cxc*5			2	2												
Cxc*8			2	2												
Cxcoorto2	1	1		2												

Tabla 3.23cont. Ocurrencia de los distintos tipos de silbidos obtenidos con la clasificación automatizada cuando los delfines del delfinario 1: "Six Flags" cambiaron de estanque (oval 1, cambio de estanque, rectangular y oval 2), mostrando los silbidos por delfín (D1 y D2) y los no adjudicados (NA).

Tipo de silbido	Estanque															
	oval 1				cambio de estanque				rectangular				oval 2			
	D1	D2	NA	SUBTOTAL	D1	D2	NA	SUBTOTAL	D1	D2	NA	SUBTOTAL	D1	D2	NA	SUBTOTAL
De6					1			1			1	1				
De8										2		2				
Mult1					2			2								
Mult13															2	2
Mult9			1	1									1			1
As12											1	1				
As18														1		1
As19													1			1
As21					1			1								
As22	1			1												
As23													1			1
As24	1			1												
As5	1			1												
As6		1		1												
C11	1			1												
C15	1			1												
C16										1	1	1				
C17									1			1				
C20													1			1
C3		1		1												
Cv3	1			1												
Cv4															1	1
Cv5			1	1												
Cv6													1			1
Cv7															1	1
Cx10															1	1
Cx11			1	1												
Cx14			1	1												
Cx15														1		1
Cx8	1			1												
Cx9													1			1
Cxc**2											1	1				
Cxcoorto3										1		1				
Cxcoorto5										1		1				
Cxcoorto7	1			1												
Cxcoorto8											1	1				
Cxcoorto9										1		1				
De10										1		1				
De11											1	1				
De12											1	1				
De13			1	1												
De5										1		1				
De9													1			1
Mult10	1			1												
Mult12													1			1
Mult15															1	1
Mult16	1			1												
Mult17													1			1
Mult19															1	1
Mult20															1	1
Mult22	1			1												
Mult4															1	1
Mult6													1			1
Mult7													1			1
Mult8															1	1
TOTAL	97	344	64	505	125	10	23	158	17	159	37	213	53	162	83	298
# tipos de silbidos	47	18	38	72	10	2	9	17	7	24	22	44	39	9	34	63
TIPOS DE SILBIDOS																
exclusivos	22	6	18		6	2	5		5	15	15		24	3	21	
D1 D2	11								2				6			
D1 NA	14				4								9			
D2 NA	1								7							
				72				17				44				63

Para comprobar estadísticamente estas diferencias en el uso del repertorio cuando los delfines cambiaron de estanque se aplicó una prueba de X^2 , encontrándose diferencias significativas con una $p= 0.001$ entre todos los cambios de estanque (Tabla 3.24). Esto indica que los delfines utilizaron sus silbidos de manera distinta cuando fueron expuestos a nuevos ambientes.

Finalmente, cabe mencionar que el delfín 2 fue 2.4 veces más vocal que el delfín 1 (755 vs. 319 silbidos adjudicados, Fig. 3.11 y 3.12). A pesar de que no se pudieron adjudicar 291 silbidos, si éstos fueran todos del delfín 1, el delfín 2 aún sería más vocal que el delfín 1. Las razones de esta diferencia en la cantidad de silbidos emitidos por cada delfín se discute con detalle en el capítulo IV.

Tabla 3.24. Resultados de la prueba de X^2 de la comparación del número de silbidos de cada tipo emitidos durante los cambios del estanque en el que se encontraban los delfines del delfinario 1: “Six Flags” de acuerdo a la clasificación utilizada.

X^2 <i>Clasificación manual</i>	cambio de estanque	rectangular	oval 2	X^2 TABLA $p=0.001$
oval 1	75.44*			67.99
cambio de estanque		55.58*		54.05
rectangular			105.35*	80.08
X^2 <i>Clasificación automatizada</i>				
oval 1	109.59*			49.73
cambio de estanque		163.44*		44.18
rectangular			96.74*	49.73

III.3.4. Índice de riqueza del uso de los silbidos Delfinario 1: “Six Flags”

El índice de diversidad de Shannon, que en este estudio se denominó índice de riqueza, considera tanto el tamaño del repertorio como la ocurrencia de cada tipo de silbido para determinar la complejidad en el repertorio de silbidos. Al comparar los repertorios manual y automatizado para el delfinario 1: “Six Flags” se encontró que, aunque las H_{max} fueron del mismo orden de magnitud (4.09 para la manual y 4.80 para la automatizada, Tabla 3.25), el valor del índice H' fue mucho menor para la clasificación

manual (1.78 vs. 2.59). Además, la distribución de silbidos en los diferentes tipos de contornos fue menos equitativa en la clasificación manual ($E = 0.43$ vs. 0.54), lo que implica que la clasificación manual subestimó la complejidad del repertorio cuando se comparó con la clasificación automatizada.

Al comparar los repertorios de ambos delfines del delfinario 1: “Six Flags” se encontró que la H_{\max} del delfín 1 fue mayor que la del delfín 2 para ambas clasificaciones (Tabla 3.25), por lo que la H' del delfín 1 fue mucho mayor que la del delfín 2. Esto indica que la complejidad del repertorio de silbidos del delfín 1 fue de más del doble que la del delfín 2. Esto refleja una mayor riqueza en su repertorio y una mayor equitabilidad: el delfín 1 emitió un mayor número de tipos de silbidos y la distribución de silbidos en los distintos tipos fue más homogénea que para el delfín 2.

Al analizar la complejidad del repertorio de silbidos cuando los delfines ocuparon los distintos estanques se observó un repertorio más complejo cuando los delfines estuvieron en el estanque oval 2 y uno más simple durante el cambio de estanque (Tabla 3.25).

Tabla 3.25. Índice de riqueza o índice de diversidad de Shannon H' y equitabilidad E para todos los silbidos analizados (repertorio conjunto), para los silbidos de cada delfín (repertorio individual) y para los silbidos de acuerdo al estanque en que se encontraban los delfines del delfinario 1: “Six Flags” para las clasificaciones manual y automatizada. N = número de silbidos, S = número de tipos de silbidos, H_{\max} = valor máximo de H' que se puede obtener para una S dada.

		Clasificación manual					Clasificación automatizada				
		N	S	H'	H_{\max}	E	N	S	H'	H_{\max}	E
Repertorio conjunto		1365	60	1.78	4.09	0.43	1174	121	2.59	4.8	0.54
Repertorio individual	delfín 1	311	40	2.23	3.69	0.6	292	76	2.69	4.33	0.62
	delfín 2	749	27	0.65	3.3	0.2	675	45	0.83	3.81	0.22
Repertorio durante cada cambio de estanque	oval 1	587	38	1.51	3.64	0.41	505	72	2.09	4.28	0.49
	cambio de estanque	217	12	1.04	2.48	0.42	158	17	1.39	2.83	0.49
	rectangular	232	27	1.6	3.3	0.49	213	44	2.25	3.78	0.59
	oval 2	329	36	2.18	3.58	0.61	298	63	2.48	4.14	0.6

III.3.5. Estereotipia en el Delfinario 1: “Six Flags”

Para ambos delfines del delfinario 1: “Six Flags” el tipo de silbido que utilizaron más frecuentemente fue el contorno convexo-constante, Cxc (Fig. 3.19) y fue para el único tipo de silbido para el que se pudo realizar el análisis de estereotipia en el delfinario 1: “Six Flags”. Al calcular la estereotipia de este tipo de silbido para los silbidos adjudicados a los delfines 1 y 2 (N = 170, 105 silbidos adjudicados al delfín 1 y 65 silbidos al delfín 2) se obtuvo una similitud del 89.1%. Los silbidos se separaban en dos tipos, los tipos Cxc1 y Cxc2 que se habían obtenido con la clasificación automatizada (Fig. 3.14B) y que representaban los silbidos tipo Cxc producidos por cada delfín, el Cxc1 correspondía al delfín 1 y Cxc2 al delfín 2 (Fig. 3.15). Los silbidos tipo Cxc1 del delfín 1 presentaron una estereotipia del 97.9% (N = 105 silbidos del delfín 1 cuando estuvo sólo en el estanque rectangular), mientras que los silbidos tipo Cxc2 del delfín 2 presentaron una estereotipia del 97.6% (N = 65 silbidos adjudicados al delfín 2). Entonces, los silbidos Cxc1 y Cxc2 representaron los silbidos estereotípicos de los delfines 1 y 2 del delfinario 1: “Six Flags”, respectivamente.

Al incluir en el análisis de estereotipia los silbidos no adjudicados de buena calidad del tipo Cxc, además de los adjudicados (N = 744 silbidos tipo Cxc en total), se determinó que, con una similitud promedio de 88.2%, los silbidos también se separaban en los tipos Cxc1 y Cxc2 que se habían obtenido con la clasificación automatizada. Los silbidos tipo Cxc1 presentaron una estereotipia del 93.4% (considerando únicamente 130 silbidos) y por día del $96.7 \pm 3.2\%$, con un valor mínimo de 89.7% y un máximo de 99.9% (Tabla 3.26, Fig. 3.16). Los silbidos tipo Cxc2 presentaron una estereotipia del 92.0% (considerando únicamente 550 silbidos) y por día del $94.6 \pm 2.7\%$, con valor mínimo de 90.1 % y máximo de 99.4%. Entonces, todos los silbidos tipo Cxc1 y Cxc2 grabados fueron silbidos estereotípicos, sugiriendo que los silbidos no adjudicados de estos tipos fueron emitidos por los delfines 1 y 2 del delfinario 1: “Six Flags”, respectivamente.

Como se mencionó en el método, la subrutina de programación en lenguaje Matlab que emplea una red neuronal (Deecke *et al.*, 1999; Deeke & Janik, 2006; ver Apéndice 1) no soportaba un número mayor de 100 silbidos para determinar el número de categorías si los silbidos eran de contornos muy distintos. Por ejemplo, los silbidos tipo Cxc1 para uno de los días tuvieron una similitud de 89.7%, que fue el valor de similitud mínimo, por lo que ese día el tipo de silbido Cxc1 no fue un silbido estereotípico (Tabla 3.26). Por ello, no fue

posible utilizar ni los 147 silbidos tipo Cxc1 ni los 585 silbidos tipo Cxc2 para calcular la estereotipia de todos los silbidos tipo Cxc en conjunto. Sin embargo, fue posible determinar la variabilidad de los tipos de silbidos Cxc1 y Cxc2 y describirlos como silbidos estereotípicos.

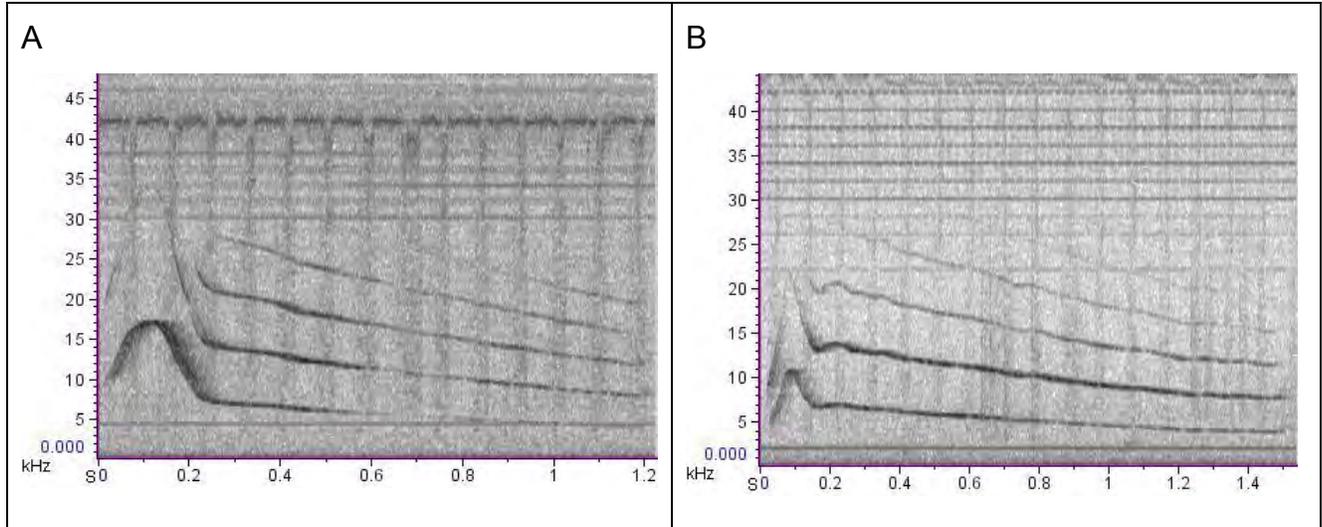


Figura 3.15. Espectrogramas de los tipos de silbidos más usados por ambos delfines del delfinario 1: “Six Flags” obtenidos con la clasificación automatizada: (A) tipo Cxc2 producido por el delfín 2 (N = 553 silbidos) y (B) tipo Cxc1 producido por el delfín 1 (N = 141 silbidos). Ambos silbidos son estereotípicos.

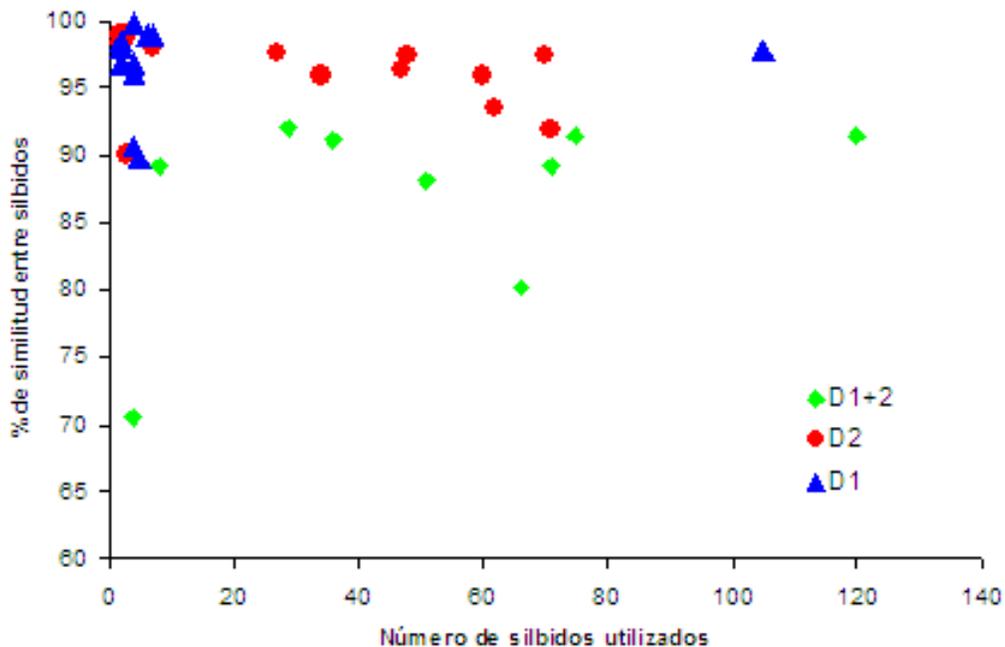


Figura 3.16. Porcentaje de similitud entre silbidos de acuerdo al número de silbidos de tipo Cxc1 o Cxc2 utilizados por los delfines 1 (D1) y 2 (D2) del delfinario 1: “Six Flags”, respectivamente.

Tabla 3.26. Estereotipia de los tipos de silbidos Cxc1 y Cxc2, evaluada como porcentaje de similitud, para los dos delfines del delfinario 1: "Six Flags" (D1 y D2), mostrando los valores para los diferentes días de grabación y para varios días en conjunto. N = número de silbidos.

# de día de muestreo	fecha	N _{CxcD1 y D2}	% similitud Cxc1 y Cxc2	número de categorías	número de iteraciones	N _{CxcD1}	% similitud Cxc1	N _{CxcD2}	% similitud Cxc2
1	03-Oct-06	1						1	
2	04-Oct-06	0							
3	10-Oct-06	0							
4	11-Oct-06	51	88.1	1	2	4	96.9	47	96.4
5	17-Oct-06	36	91.1	1	2	2	98.1	34	96
6	18-Oct-06	3	99	1	2			3	99
7	23-Oct-06	75	91.5	1	2	4	99.9	71	91.9
8	30-Oct-06	66	80.1	1	2	4	90.7	62	93.5
9	27-Nov-06	4	70.6	1	2	2	96.8	2	98.3
10	04-Dic-06	0							
11	11-Dic-06	9	89.1	1	2	5	89.7	4	90.1
12	18-Dic-06	70						70	97.5
13	03-Ene-07	0							
14	05-Ene-07	6				6	98.9		
15	15-Ene-07	29	92	1	2	2	98.5	27	97.6
16	16-Ene-07	3						3	98.6
17	17-Ene-07	0							
18	19-Ene-07	105				105	97.8		
19	23-Ene-07	0							
20	24-Ene-07	0							
21	31-Ene-07	2						2	98.9
22	13-Feb-07	7				7	99		
23	26-Feb-07	0							
24	05-Mar-07	2				2	98		
25	13-Mar-07	0							
26	27-Mar-07	48						48	97.4
27	27-Abr-07	60						60	96
28	04-May-07	3						3	98.9
29	11-May-07	7						7	98
30	17-May-07	0							
31	30-Ago-07	0							
32	13-Sep-07	120	91.4	1	2	4	96.1	116	93
33	03-Oct-07	0							
34	10-Oct-07	35						35	97.8
35	24-Oct-07	2			2			2	99.4
TOTAL		744				147		597	
PROMEDIO			88.1				96.7		96.6
DESVIACIÓN ESTÁNDAR			8.2				3.2		2.7
MAXIMO			99.0				99.9		99.4
MINIMO			70.6				89.7		90.1
Máximo de silbidos analizados en conjunto					2	130	93.4	550	92.0

Cuando se consideró una similitud del 91.9% al realizar el análisis de estereotipia con todos los silbidos de tipo Cxc de la clasificación manual, incluyendo todos los silbidos no adjudicados, se obtuvieron dos categorías, que correspondían una para cada delfín. Por ello, los silbidos que no se habían podido adjudicar al delfín que los produjo por el método combinado acústico-visual se pudieron adjudicar utilizando la estereotipia de los silbidos.

Así, determinar la estereotipia de los silbidos es un método útil para identificar al delfín silbante.

La duración de los silbidos de acuerdo al tipo fue muy variable, desde menos de 0.2 s para los tipo P, hasta más de 3 s para los contornos convexos y sinusoidales. Los tipos Cxc1 y Cxc2 fueron de alrededor de 1s con frecuencias entre los 3 y los 32 kHz (Tabla 3.15) y sus características espectrales fueron distintas. El tipo Cxc1 se caracterizó por un segmento convexo de menor duración, un segmento constante de mayor intensidad y un segundo armónico de mayor intensidad que la frecuencia fundamental (Fig. 3.15B, Tabla 3.27). El tipo Cxc2 se caracterizó por un segmento convexo de mayor duración y mayor intensidad (Fig. 3.15A, Tabla 3.27).

Tabla 3.27. Mediciones de los parámetros acústicos de los silbidos tipo Cxc1 y Cxc2 adjudicados a los delfines 1 y 2 del delfinario 1: “Six Flags”, respectivamente.

Característica acústica	Cxc1	Cxc2
	promedio ± error estándar	promedio ± error estándar
Frecuencia mínima (Hz)	3402 ± 40	3252 ± 28
Frecuencia máxima (Hz)	31921 ± 88	20725 ± 44
Ancho de banda (Hz)	28838 ± 107	17473 ± 50
Duración del segmento convexo (s)	0.207 ± 0.002	0.152 ± 0.001
Frecuencia inicial del segmento convexo (Hz)	10303 ± 57	4110 ± 43
Frecuencia final del segmento convexo (Hz)	6892 ± 25	6415 ± 20
Frecuencia máxima del segmento convexo (Hz)	18248 ± 37	10556 ± 25
Ancho de banda del segmento convexo (Hz)	7946 ± 125	6446 ± 54
Duración del segmento constante (s)	0.917 ± 0.004	1.161 ± 0.006
Ancho de banda del segmento constante (Hz)	3490 ± 43	3163 ± 37
Frecuencia a la intensidad máxima del 2º armónico (Hz)	11592 ± 105	10586 ± 109
Intensidad máxima del 2º armónico (dB _{Raven})	66.5 ± 0.2	90.2 ± 0.2
Diferencia en la intensidad del 2º armónico y la frecuencia fundamental (dB _{Raven})	-18.3 ± 0.3	5.6 ± 0.3

III.4. Resultados Delfinario 2: “Atlantis”

La recolección de datos en el delfinario 2: “Atlantis” se llevó a cabo durante 24 días entre el 09 de abril de 2007 y el 04 de enero de 2008 (Tabla 1.2). El esfuerzo de muestreo dependió de la autorización del delfinario para realizar este trabajo, ya que no en todos los días de “descanso” fue posible realizar la recolección de datos. En estos 24 días de muestreo se grabaron 3433 minutos (57.20 horas), con el equipo de grabación que se muestra en la tabla 2.4, en los que se tuvieron 1172 minutos con 4362 silbidos (Tabla 3.28).

Los primeros 3114 minutos grabados en 21 días entre abril y octubre de 2007 corresponden a los delfines 3 y 4, para los cuales se registraron 2454 silbidos. Los siguientes 212 minutos grabados en dos días entre octubre y noviembre de 2007 corresponden sólo al delfín 3, para los cuales se registraron 721 silbidos. Finalmente, los últimos 106 minutos grabados en enero de 2008 corresponden a los delfines 3 y 5, para los cuales se registraron 1187 silbidos (Tabla 3.29).

III.4.1. Ocurrencia de silbidos Delfinario 2: “Atlantis”

El análisis de los silbidos grabados en el delfinario 2: “Atlantis” indicó que la ocurrencia de silbidos fue muy alta, ya que durante el 34.1% del tiempo de grabación se obtuvieron silbidos (Tabla 3.28). Únicamente durante tres días (12% de los días) no se registró ningún silbido: durante dos días que se empleó una aspiradora para limpiar el estanque con los delfines 3 y 4 porque la turbidez del agua era alta y durante uno de los días que el delfín 3 estaba solo. Entonces, la emisión de silbidos durante todo el muestreo en el delfinario 2: “Atlantis” fue de 1.70 ± 2.32 silbidos/min grabado o 2.77 ± 2.29 silbidos/min con silbidos, con un valor mínimo de 0 silbidos/min grabado y un máximo de 11.20 silbidos/min grabado o silbidos/min con silbidos (Tabla 3.28). Para los delfines 3 y 4, la emisión de silbidos fue de 1.18 ± 0.90 silbidos/min grabado o 2.35 ± 1.20 silbidos/min con silbidos, con un valor mínimo de 0 silbidos/min grabado y un máximo de 3.19 silbidos/min grabado o 4.61 silbidos/min con silbidos. Para el delfín 3 solo, la emisión de silbidos fue de 2.37 ± 3.35 silbidos/min grabado o 2.91 ± 4.11 silbidos/min con silbidos, con un valor mínimo de 0 silbidos/min grabado y un máximo de 4.74 silbidos/min grabado o 5.81 silbidos/min con silbidos. Y para los delfines 3 y 5, la emisión de silbidos fue de 11.20 silbidos/min grabado o silbidos/min con silbidos.

Tabla 3.28. Esfuerzo de muestreo en el delfinario 2: “Atlantis”, mostrando los días durante los que se tomaron datos, el tiempo de grabación, el número de minutos con silbidos, el número de minutos grabados, el número de silbidos obtenidos y las tres tasas de emisión de silbidos calculadas.

# de día de muestreo	fecha	tiempo de grabación (min)	número de minutos grabados con silbidos	número de minutos grabados	número de silbidos grabados	tasa de emisión (silbidos/min grabados)	tasa de emisión (silbidos/min c/silbidos)	tasa de emisión (silbidos/cada min)
1	09-Abr-07	97.1	48	97	140	1.44	2.92	1.44
2	16-Abr-07	119.2	71	120	227	1.91	3.20	1.89
3	23-Abr-07	87.4	59	88	207	2.37	3.51	2.35
4	30-Abr-07	68.9	14	69	30	0.44	2.14	0.43
5	07-May-07	55.2	0	55	0	0.00	0.00	0.00
6	14-May-07	44.6	10	45	12	0.27	1.20	0.27
7	21-May-07	88.3	27	88	87	0.99	3.22	0.99
8	25-May-07	60.0	42	60	104	1.73	2.48	1.73
9	02-Jul-07	89.0	0	89	0	0.00	0.00	0.00
10	09-Jul-07	63.0	48	63	165	2.62	3.44	2.62
11	16-Jul-07	64.0	17	64	29	0.45	1.71	0.45
12	30-Jul-07	88.3	59	89	122	1.38	2.07	1.37
13	06-Ago-07	88.4	63	89	194	2.20	3.08	2.18
14	13-Ago-07	64.2	24	64	58	0.90	2.42	0.91
15	20-Ago-07	83.4	38	84	105	1.26	2.76	1.25
16	27-Ago-07	77.0	30	77	58	0.75	1.93	0.75
17	03-Sep-07	66.0	20	66	36	0.55	1.80	0.55
18	17-Sep-07	322.2	101	323	184	0.57	1.82	0.57
19	24-Sep-07	89.7	137	90	135	1.51	0.99	1.50
20	01-Oct-07	1365.0	111	1365	455	0.33	4.10	0.33
21	15-Oct-07	33.3	23	33	106	3.19	4.61	3.21
22	29-Oct-07	60.0	0	60	0	0.00	0.00	0.00
23	12-Nov-07	152.0	124	152	721	4.74	5.81	4.74
24	04-Ene-08	106.0	106	107	1187	11.20	11.20	11.09
TOTAL		3432	1172	3437	4362	1.27	3.72	1.27
PROMEDIO		143.0	48.8	143.2	181.8	1.70	2.77	1.69
DESVIACIÓN ESTÁNDAR		266.1	40.7	266.1	267.0	2.32	2.29	2.30
MAXIMO		1365.0	137	1365	1187	11.20	11.20	11.09
MINIMO		33.3	0	33	0	0.00	0.00	0.00

En las tres situaciones de cambio de compañero del delfinario 2: “Atlantis” la tasa de emisión por minuto grabado y por minuto con silbidos fue muy distinta, esto implicó que la distribución de los silbidos en el tiempo no fue homogénea y que los silbidos fueron emitidos en mayor proporción a cierto tiempo. Estos resultados se confirmaron durante las grabaciones realizadas durante un ciclo de 24 horas para los delfines 3 y 4 (Tabla 3.28),

en el que se registraron silbidos durante el día y la noche (Fig. 3.17). Los delfines silbaron entre las 11:00 y las 11:30 horas (192 silbidos) con un máximo de 17 silbidos/min con silbidos. Por la tarde, silbaron entre las 12:30 y las 14:00 horas (53 silbidos) con un máximo de 5 silbidos/min con silbidos. Durante la noche se registraron silbidos a las 22:22 horas (3 silbidos), a las 23:36 horas (un silbido), de 0:37 a 0:59 horas (11 silbidos con un máximo de 5 silbidos/min con silbidos), de 01:51 a 02:05 horas (77 silbidos con un máximo de 17 silbidos/min con silbidos) y, finalmente, entre las 06:30 y las 07:30 horas, cuando comenzó a amanecer (118 silbidos con hasta 8 silbidos/min con silbidos).

Entonces, las grabaciones se dividieron en minutos consecutivos sin importar si había o no emisión de silbidos para comparar la ocurrencia de silbidos durante el cambio de compañero en el delfinario 2: “Atlantis” utilizando un valor de número de silbidos por cada minuto (Tabla 3.29, Fig. 3.18).

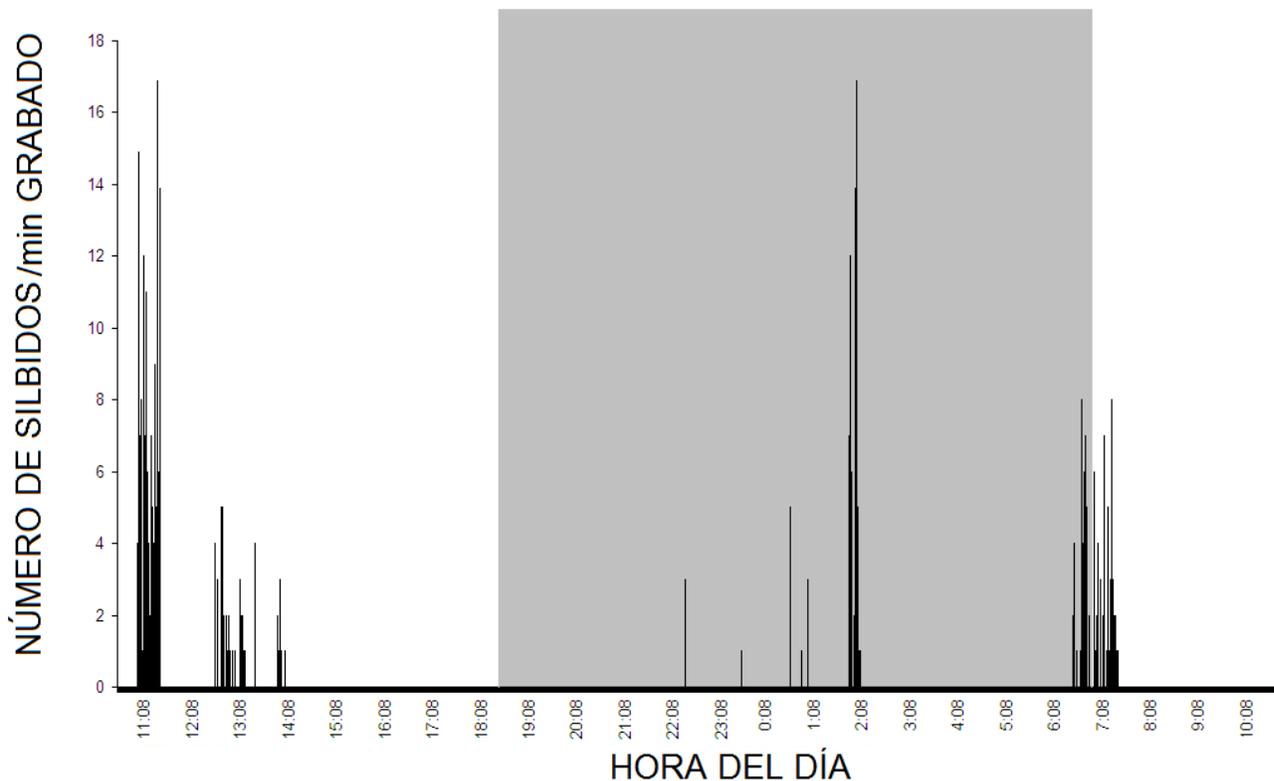


Figura 3.17. Número de silbidos registrados durante el ciclo de 24 horas realizado en el delfinario 2: “Atlantis”. El periodo marcado en gris denota la noche y el periodo marcado en blanco denota el día. Las grabaciones comenzaron a las 10:45 horas del 01 de octubre de 2007.

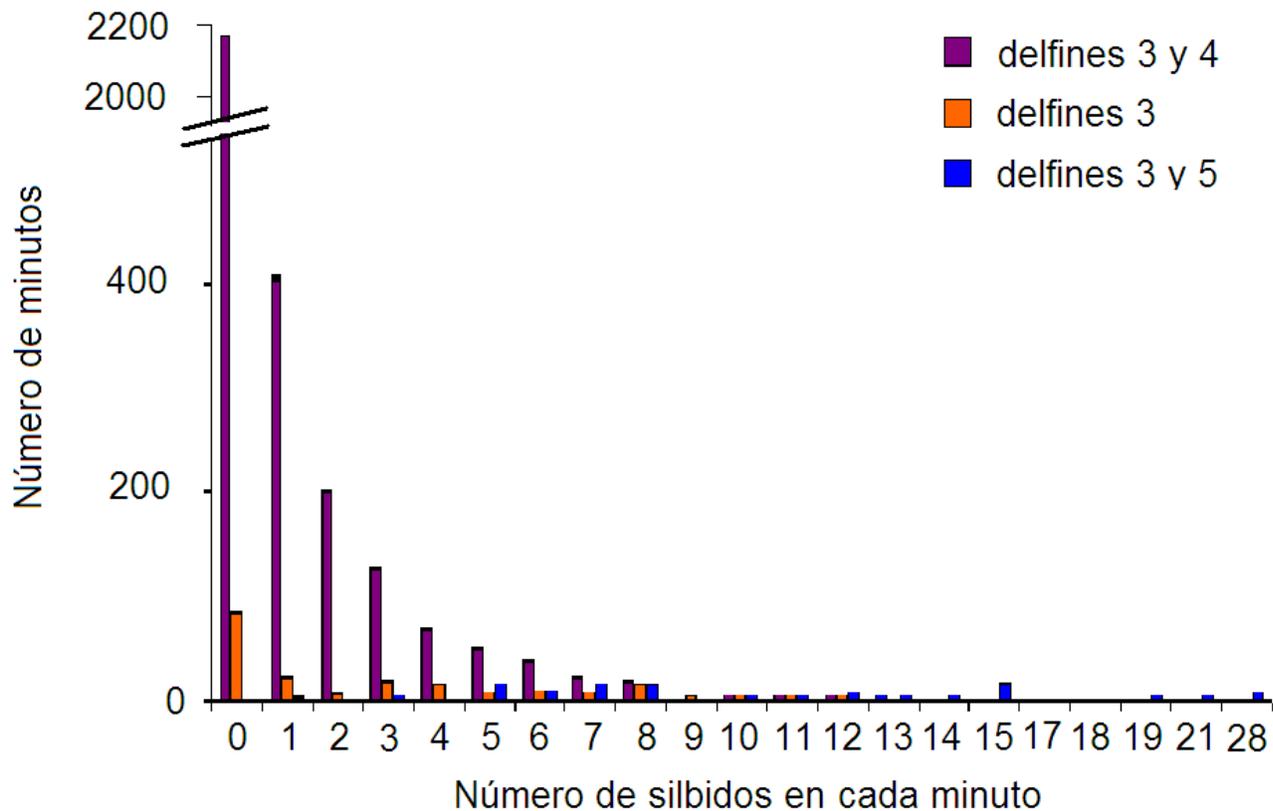


Figura 3.18. Histograma del número de silbidos registrados durante cada minuto para las tres situaciones del cambio de compañero en el delfinario 2: "Atlantis".

Utilizando esta división en minutos consecutivos sin importar si había o no emisión de silbidos, se construyó una tabla de ocurrencia del número de minutos con un número específico de silbidos para investigar si la ocurrencia de silbidos cambiaba de acuerdo al estanque en el que se encontraban los delfines (Tabla 3.29) y se determinó que la tasa de emisión de silbidos fue muy diferente cuando el delfín 3 estaba solo o tenía distinto compañero (Tabla 3.30). De hecho, el 14 de enero de 2008 que estuvieron juntos los delfines 3 y 5 sólo hubo un minuto en el que no se registraran silbidos: la tasa de emisión fue máxima, de 11.09 silbidos/cada min. De abril a octubre de 2007 que estuvieron juntos los delfines 3 y 4 la tasa de emisión fue de 1.18 ± 0.90 silbidos/cada min y en octubre de 2007 que el delfín 3 se quedó solo aumentó a 2.37 ± 3.35 silbidos/cada min.

Tabla 3.29. Tabla de ocurrencia en el delfinario 2: "Atlantis" del número de minutos que tenía un número específico de silbidos, mostrando los datos de acuerdo a los delfines que se encontraban en el estanque.

número de silbidos en cada minuto	delfines 3 y 4	delfín 3	delfines 3 y 5	número de minutos totales
0	2172	85	0	2257
1	405	21	4	430
2	198	9	0	207
3	126	16	4	146
4	68	14	0	82
5	51	10	12	73
6	36	11	7	54
7	21	7	14	42
8	16	13	13	42
9	0	5	0	5
10	5	6	4	15
11	4	6	4	14
12	4	3	8	15
13	4	2	4	10
14	1	1	4	6
15	1	0	13	14
17	2	2	0	4
18	0	0	0	0
19	0	0	4	4
21	0	0	4	4
28	0	1	8	9
TOTAL	3114	212	107	3433
Número de minutos con silbidos	942	127	107	1176
Número de silbidos	2454	721	1187	4362

Tabla 3.30. Resultados de la prueba de χ^2 de la comparación de la tasa de emisión de silbidos como número de silbidos por cada minuto durante cada cambio de compañero en el delfinario 2: "Atlantis".

χ^2	Delfín 3	Delfines 3 y 5	χ^2 TABLA $p=0.001$
Delfines 3 y 4	357*		31
Delfín 3		63*	41
Delfines 3 y 4		451*	41

Por último, se determinó si existía relación entre la ocurrencia de silbidos y las características fisicoquímicas del agua del estanque (i.e., temperatura y salinidad). Al graficar los valores de la tasa de emisión de silbidos y de las características fisicoquímicas de acuerdo al día de grabación se encontró que los valores de salinidad y temperatura se mantuvieron relativamente estables a lo largo del periodo de muestreo, mientras que la emisión de silbidos fue muy variable (Fig. 3.19A). Además, no se encontró una relación entre la tasa de emisión de silbidos y los valores de los parámetros fisicoquímicos del agua, ya que la R^2 fue menor a 0.21 (Fig. 3.19B,C).

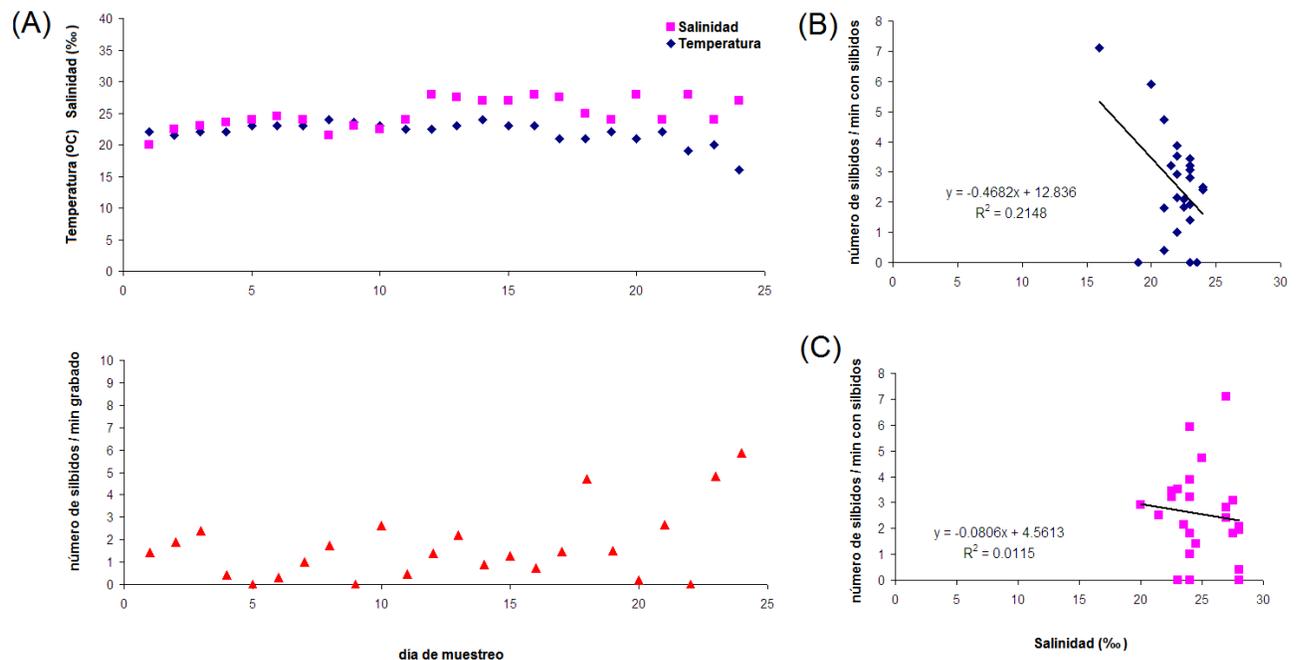


Figura 3.19. Relación entre la tasa de emisión de silbidos y los parámetros fisicoquímicos del agua del estanque del delfinario 2: “Atlantis”. (A) Cambio de la tasa de emisión y de los parámetros fisicoquímicos de acuerdo al día de muestreo. Cambio de la tasa de emisión de acuerdo a (B) la temperatura y (C) la salinidad.

III.4.2. Repertorio de silbidos Delfinario 2: “Atlantis”

Se clasificaron manualmente los 3837 silbidos del delfinario 2: “Atlantis” en 116 tipos de silbidos (Tabla 3.31). Los 1880 silbidos de los delfines 3 y 4 del delfinario 2: “Atlantis” fueron de 71 tipos (Fig. 3.20, Tabla 3.32). Cuando el delfín 3 se quedó solo emitió 721 silbidos con los que, sorprendentemente, se obtuvieron 14 tipos de silbidos nuevos (Tabla 3.33), además de 32 tipos que ya se habían producido cuando estaba junto con el delfín 4. El día que se grabaron a los delfines 3 y 5, con 1236 silbidos, se encontraron 28 silbidos nuevos (Tabla 3.34), además de 33 tipos que ya se habían producido cuando estaban juntos los delfines 3 y 4 y de tres tipos que había producido el delfín 3 cuando estuvo solo. Entonces, el repertorio de silbidos de los tres delfines del delfinario 2: “Atlantis” estuvo compuesto por 116 tipos de silbidos.

Tabla 3.31. Las 116 categorías de silbidos encontrados para el delfinario 2: “Atlantis” utilizando la clasificación manual.

Tipo de categoría	Categorías o tipos de silbidos							# categorías
Constante	C	Cas	Cin	Cir	Cl	Cb	Csin	8
	Csinas							
Convexo	Cx	Cxb	Cxin	Cxde	Cxir	Cxl	AsDe	7
Cóncavo	Cv	Cvas	Cvir	Cvr	Deas	DeAs		6
Ascendente	As	Ascorto	Asin	Asr	Asir	Asl	Asb	17
	Asbas	Asbasl	Ass	Asw	Asz	Asz2x	Aszcv	
	Asc	Asx	Asv					
Descendente	De	Dee	Deir	Del	Deb			5
Cxc	Cxc	Cxc2r	Cxc2ras	Cxc3r	Cxc3ras	Cxc4r	Cxcas	9
	Cxcv	Cxcras						
Múltiple	Ascas	Asccvc	Ascir	Ascvc	Ascx	AsbCvl	Ascvcx	64
	Ascvcx2r	AsxAsb	Casc	Cascas	Ccv	Cvas	Cvc	
	Cvcx	Ccx	Ccxas	Cxcx	Cde	Cdec	Cv2r	
	Cvc	Cvascas	Cvcx	Cvcx2rcv	Cvcx2x	Cvcx3r	Cvcxas	
	Cvcxasw	Cvcxcv	Cx2r	Cx2rc	Cx2ras	Cx2rcv	Cx2rde	
	Cx3r	Cx3rc	Cx4ras	Cx5r	Cx6r	Cx2x	Cx4x	
	Cxc	Cxcl	Cxcas	Cxcascx	Cxcasde	Cxccx	Cxasc	
	Cxasw	CxAsx	Cxas	Cxasas	Cxcv	Cxcvas	Cxcvascv	
	Cxcvasx	CxcvasxAsb	Dec	Deccx	Decx	Decv	irC	
	P							
TOTAL								116

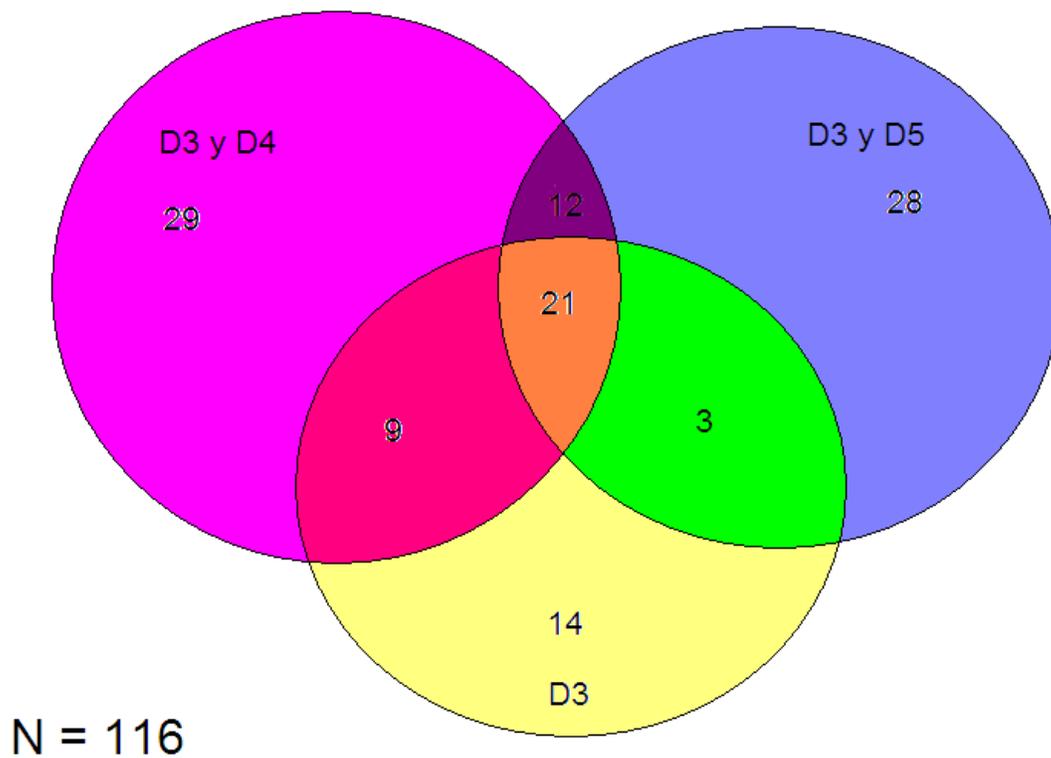


Figura 3.20. Los 116 tipos de silbidos del delfinario 2: "Atlantis" determinados con la clasificación manual de acuerdo a los delfines presentes en el estanque. D3 = delfín 3, D4 = delfín 4, D5 = delfín 5. N = número de tipos de silbidos.

La curva del número de tipos de silbidos nuevos en el repertorio clasificados manualmente contra el número total de silbidos analizados para considerar si el repertorio de silbidos para el delfinario 2 : "Atlantis" era representativo se ajustó a una curva asintótica para los tres delfines (Fig. 3.21); se observó un incremento en el número de silbidos nuevos muy bajo al compararlo con un repertorio infinito. El repertorio de 120 tipos de silbidos se alcanzó cuando se habían analizado 3629 silbidos de 57 h de muestreo (95% del total de silbidos analizados y 99% del tiempo grabado), por lo que puede ser considerado como un repertorio representativo de silbidos del delfinario 2 : "Atlantis".

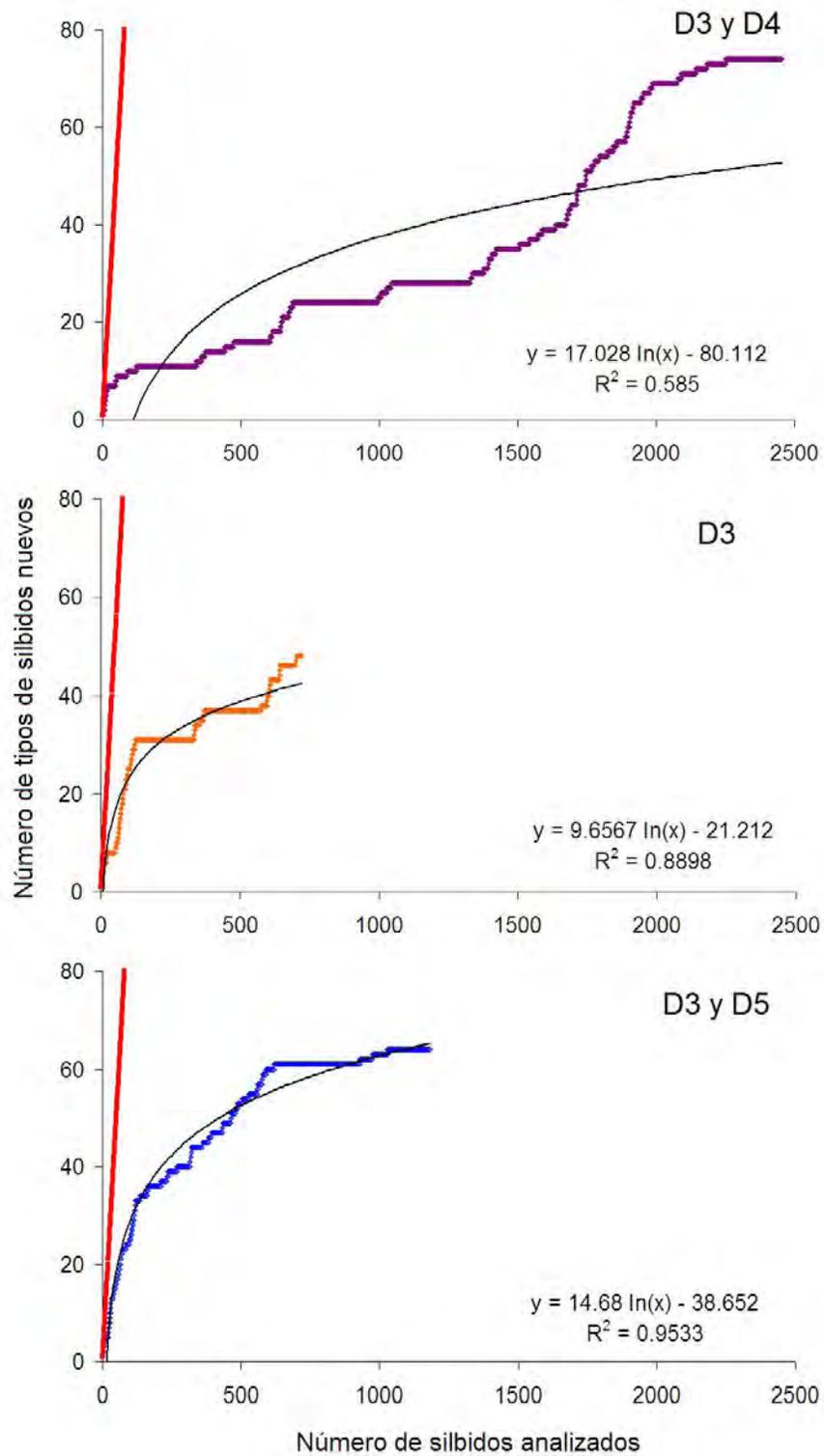


Figura 3.21. Curvas acumulativas para el delfinario 2: “Atlantis” del número de tipos de silbidos nuevos vs. el número de silbidos analizados determinados con la clasificación manual para las tres configuraciones de compañeros: (A) delfines 3 y 4 (morado), (B) delfín 3 solo (naranja) y (C) delfines 3 y 5 (azul). La línea roja con pendiente, $m=1$ representa un repertorio infinito. Las líneas negras representan el ajuste logarítmico de los datos y se muestra su ecuación y valor de ajuste (R^2).

Tabla 3.32. Espectrogramas de los 29 tipos de silbidos exclusivos de los delfines 3 y 4 del delfinario 2: "Atlantis" obtenidos con la clasificación manual.

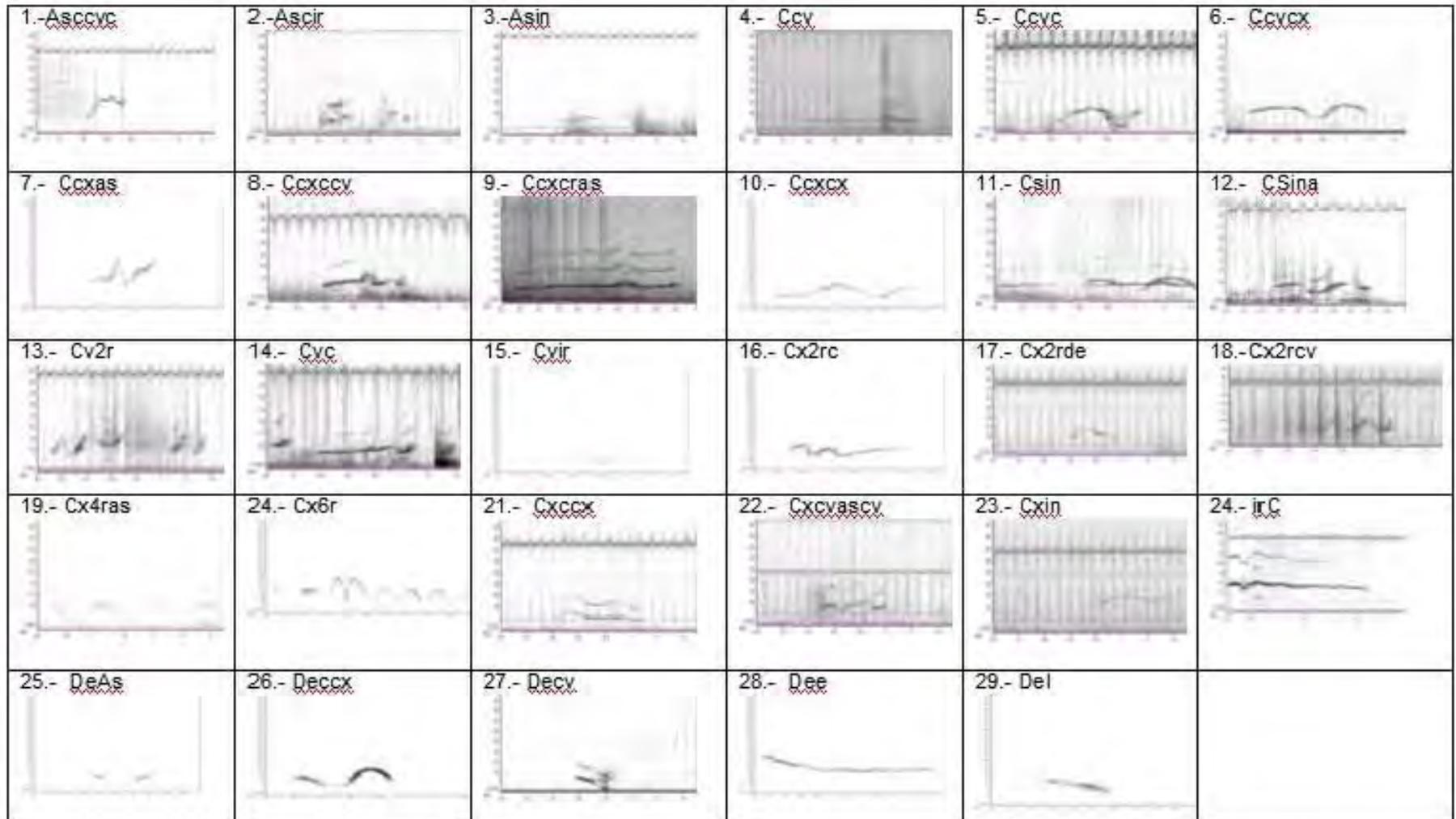


Tabla 3.33. Espectrogramas de los 14 tipos de silbidos exclusivos del delfín 3 del delfinario 2: "Atlantis" obtenidos con la clasificación manual.

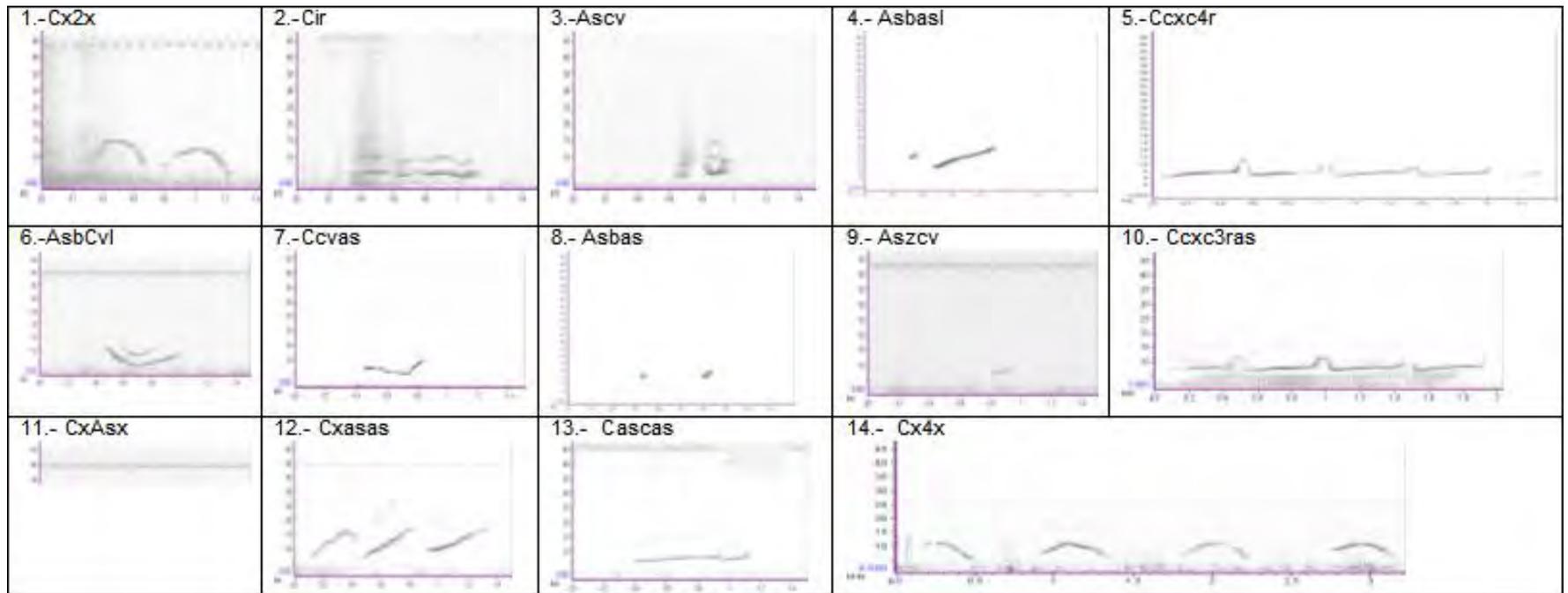
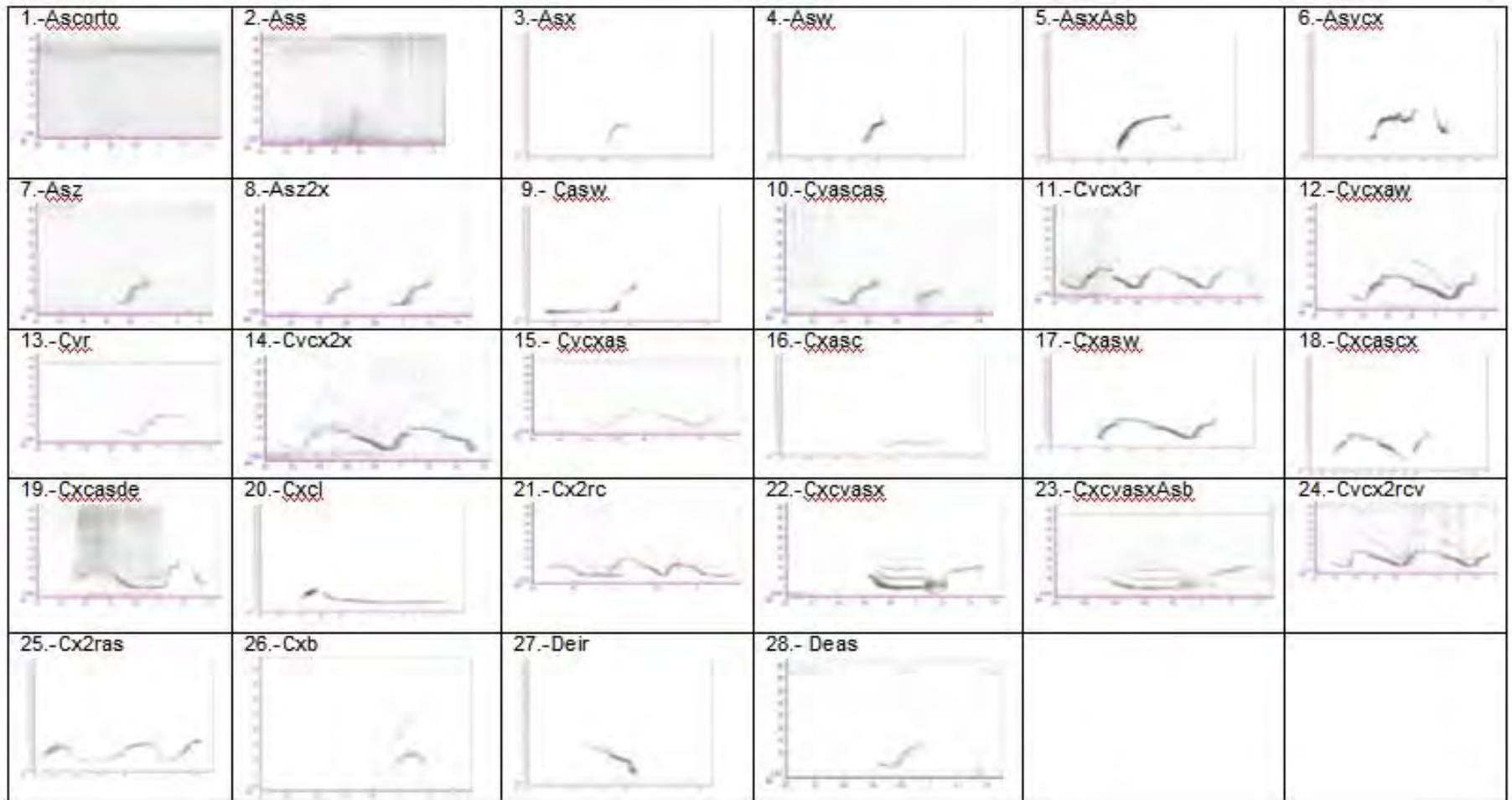


Tabla 3.34. Espectrogramas de los 28 tipos de silbidos exclusivos de los delfines 3 y 5 del delfinario 2: "Atlantis" obtenidos con la clasificación manual.



III.4.3. Uso de los silbidos Delfinario 2: “Atlantis”

Al analizar la ocurrencia de cada tipo de silbido obtenido con la clasificación manual para los tres delfines del delfinario 2: “Atlantis” se observó que no existió un contorno de uso predominante como en el delfinario 1: “Six Flags” (Tabla 3.35, Fig. 3.22). Los dos contornos más emitidos, los tipos C y Ccxc (Tabla 3.26), constituyeron el 10.0% y el 9.7% de los silbidos analizados, respectivamente: el 50.5% de los silbidos emitidos fueron de 7 tipos y el 92.4% de los silbidos fueron de 33 tipos.

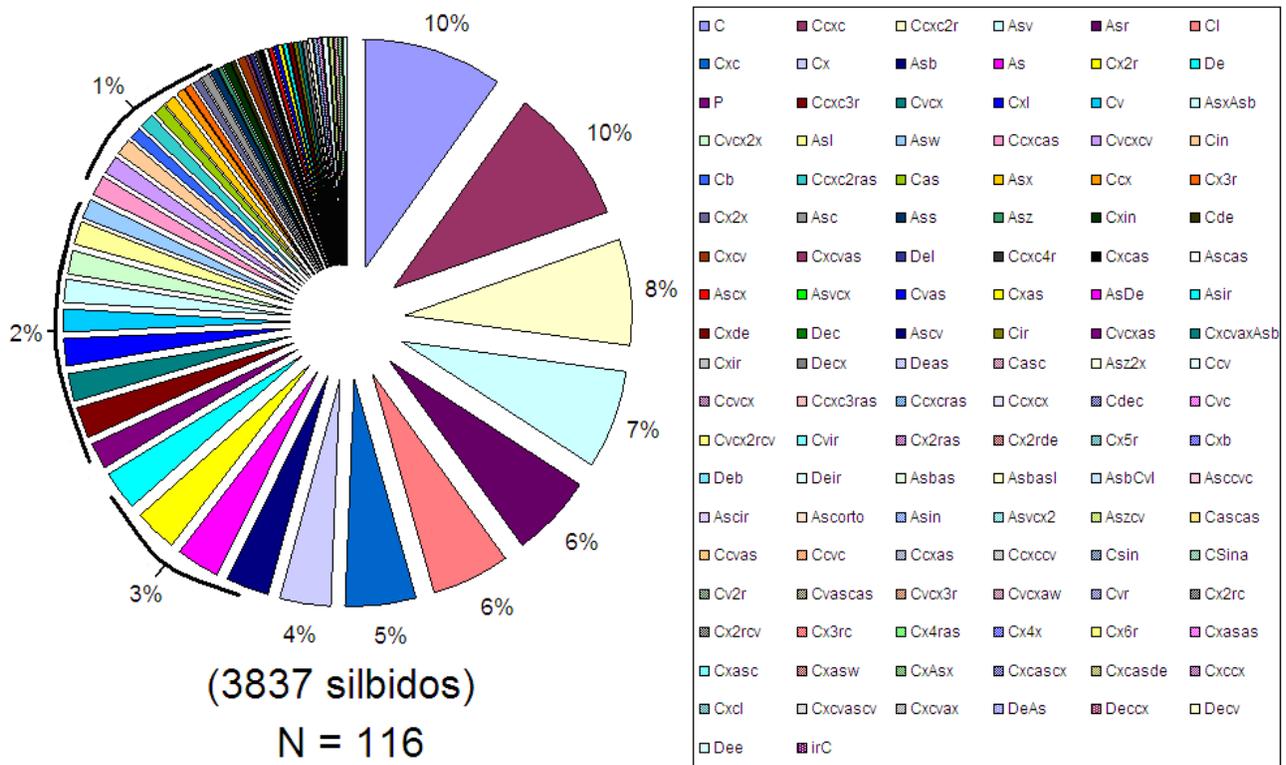


Figura 3.22. Ocurrencia de los 116 tipos de silbidos del delfinario 2: “Atlantis” determinados con la clasificación manual, mostrando el porcentaje para los tipos de silbidos que representaron más del 1% del total de los silbidos.

Tabla 3.35. Ocurrencia de los 116 tipos de silbidos obtenidos con la clasificación manual para el delfinario 2: "Atlantis", mostrando los silbidos totales y los silbidos emitidos por los distintos compañeros (D3 y D4, D3 solo, y D3 y D5). N = número de silbidos.

Tipo de silbido	N total	%	N acumulado	% acumulado	N D3yD4	%	N D3	%	N D3yD5	%
C	385	10.0	385	10.0	200	10.6	73	10.1	112	9.1
Ccxc	372	9.7	757	19.7	229	12.2	139	19.3	4	0.3
Ccxc2r	292	7.6	1049	27.3	83	4.4	209	29.0		
Asv	266	6.9	1315	34.3	254	13.5	1	0.1	11	0.9
Asr	220	5.7	1535	40.0			36	5.0	184	14.9
Cl	220	5.7	1755	45.7	193	10.3	3	0.4	24	1.9
Cxc	184	4.8	1939	50.5	15	0.8	24	3.3	145	11.7
Cx	137	3.6	2076	54.1	22	1.2	21	2.9	94	7.6
Asb	124	3.2	2200	57.3	107	5.7	4	0.6	13	1.1
As	118	3.1	2318	60.4			25	3.5	93	7.5
Cx2r	110	2.9	2428	63.3	109	5.8			1	0.1
De	108	2.8	2536	66.1	80	4.3	9	1.2	19	1.5
P	82	2.1	2618	68.2	80	4.3			2	0.2
Ccxc3r	76	2.0	2694	70.2	20	1.1	56	7.8		
Cvxc	75	2.0	2769	72.2	7	0.4	4	0.6	64	5.2
Cxl	74	1.9	2843	74.1	71	3.8			3	0.2
Cv	70	1.8	2913	75.9	48	2.6	4	0.6	18	1.5
AsxAsb	64	1.7	2977	77.6					64	5.2
Cvxc2x	64	1.7	3041	79.3					64	5.2
Asl	61	1.6	3102	80.8	56	3.0			5	0.4
Asw	56	1.5	3158	82.3					56	4.5
Ccxcas	55	1.4	3213	83.7	41	2.2	6	0.8	8	0.6
Cvxcv	46	1.2	3259	84.9	1	0.1			45	3.6
Cin	45	1.2	3304	86.1	38	2.0	7	1.0		
Cb	39	1.0	3343	87.1	32	1.7	2	0.3	5	0.4
Ccxc2ras	39	1.0	3382	88.1	27	1.4	11	1.5	1	0.1
Cas	32	0.8	3414	89.0	8	0.4	8	1.1	16	1.3
Asx	30	0.8	3444	89.8					30	2.4
Ccx	25	0.7	3469	90.4	13	0.7	3	0.4	9	0.7
Cx3r	22	0.6	3491	91.0	21	1.1	1	0.1		
Cx2x	21	0.5	3512	91.5			21	2.9		
Asc	20	0.5	3532	92.1	12	0.6	2	0.3	6	0.5
Ass	19	0.5	3551	92.5					19	1.5
Asz	16	0.4	3567	93.0					16	1.3
Cxin	16	0.4	3583	93.4	16	0.9				
Cde	15	0.4	3598	93.8	10	0.5	1	0.1	4	0.3
Cxcv	15	0.4	3613	94.2	11	0.6			4	0.3
Cxcvas	15	0.4	3628	94.6	1	0.1			14	1.1
Del	13	0.3	3641	94.9	13	0.7				
Ccxc4r	10	0.3	3651	95.2			10	1.4		
Cxcas	10	0.3	3661	95.4	1	0.1			9	0.7
Ascas	8	0.2	3669	95.6			3	0.4	5	0.4
Ascx	8	0.2	3677	95.8	5	0.3		0.0	3	0.2
Asvxc	8	0.2	3685	96.0					8	0.6
Cvas	8	0.2	3693	96.2	4	0.2			4	0.3
Cxas	8	0.2	3701	96.5	2	0.1	2	0.3	4	0.3
AsDe	7	0.2	3708	96.6	1	0.1	6	0.8		
Asir	6	0.2	3714	96.8	3	0.2			3	0.2
Cxde	6	0.2	3720	97.0	1	0.1			5	0.4
Dec	6	0.2	3726	97.1	2	0.1	2	0.3	2	0.2
Asc v	5	0.1	3731	97.2			5	0.7		
Cir	5	0.1	3736	97.4			5	0.7		
Cvxcas	5	0.1	3741	97.5					5	0.4
CcxcvaxAsb	5	0.1	3746	97.6					5	0.4
Cxir	5	0.1	3751	97.8	3	0.2			2	0.2
Decx	5	0.1	3756	97.9	2	0.1	3	0.4		
Deas	4	0.1	3760	98.0					4	0.3
Casc	3	0.1	3763	98.1	1	0.1	1	0.1	1	0.1
Asz2x	2	0.1	3765	98.1					2	0.2
Ccv	2	0.1	3767	98.2	2	0.1				
Cvrcx	2	0.1	3769	98.2	2	0.1				
Ccxc3ras	2	0.1	3771	98.3			2	0.3		

CAPÍTULO III

RESULTADOS: USO DE SILBIDOS: DELFINARIO 2

Tabla 3.35cont. Ocurrencia de los 116 tipos de silbidos obtenidos con la clasificación manual para el delfinario 2: "Atlantis", mostrando los silbidos totales y los silbidos emitidos por los distintos compañeros (D3 y D4, D3 solo, y D3 y D5). N = número de silbidos.

Tipo de silbido	N total	%	N acumulado	% acumulado	N D3yD4	%	N D3	%	N D3yD5	%
Cxcrcras	2	0.1	3773	98.3	2	0.1				
Cxcrcx	2	0.1	3775	98.4	2	0.1				
Cdec	2	0.1	3777	98.4	1	0.1	1	0.1		
Cvc	2	0.1	3779	98.5	2	0.1				
Cvcx2rcv	2	0.1	3781	98.5					2	0.2
Cvir	2	0.1	3783	98.6	2	0.1				
Cx2ras	2	0.1	3785	98.6					2	0.2
Cx2rde	2	0.1	3787	98.7	2	0.1				
Cx5r	2	0.1	3789	98.7	1	0.1	1	0.1		
Cxb	2	0.1	3791	98.8					2	0.2
Deb	2	0.1	3793	98.9	1	0.1	1	0.1		
Deir	2	0.1	3795	98.9					2	0.2
Asbas	1	0.0	3796	98.9			1	0.1		
Asbasl	1	0.0	3797	99.0			1	0.1		
AsbCvI	1	0.0	3798	99.0			1	0.1		
Ascovc	1	0.0	3799	99.0	1	0.1				
Ascfr	1	0.0	3800	99.0	1	0.1				
Ascorto	1	0.0	3801	99.1					1	0.1
Asin	1	0.0	3802	99.1	1	0.1				
Asvcx2	1	0.0	3803	99.1					1	0.1
Aszcv	1	0.0	3804	99.1			1	0.1		
Cascas	1	0.0	3805	99.2			1	0.1		
Cvas	1	0.0	3806	99.2			1	0.1		
Cvc	1	0.0	3807	99.2	1	0.1				
Cxas	1	0.0	3808	99.2	1	0.1				
Cxcxcv	1	0.0	3809	99.3	1	0.1				
Csin	1	0.0	3810	99.3	1	0.1				
CSina	1	0.0	3811	99.3	1	0.1				
Cv2r	1	0.0	3812	99.3	1	0.1				
Cvascas	1	0.0	3813	99.4					1	0.1
Cvc3r	1	0.0	3814	99.4					1	0.1
Cvcxaw	1	0.0	3815	99.4					1	0.1
Cvr	1	0.0	3816	99.5					1	0.1
Cx2rc	1	0.0	3817	99.5	1	0.1				
Cx2rcv	1	0.0	3818	99.5	1	0.1				
Cx3rc	1	0.0	3819	99.5					1	0.1
Cx4ras	1	0.0	3820	99.6	1	0.1				
Cx4x	1	0.0	3821	99.6			1	0.1		
Cx6r	1	0.0	3822	99.6	1	0.1				
Cxasas	1	0.0	3823	99.6			1	0.1		
Cxasc	1	0.0	3824	99.7					1	0.1
Cxasw	1	0.0	3825	99.7					1	0.1
CxAsx	1	0.0	3826	99.7			1	0.1		
Cxcascx	1	0.0	3827	99.7					1	0.1
Cxcasde	1	0.0	3828	99.8					1	0.1
Cxcocx	1	0.0	3829	99.8	1	0.1				
Cxd	1	0.0	3830	99.8					1	0.1
Cxcvascv	1	0.0	3831	99.8	1	0.1				
Cxcvax	1	0.0	3832	99.9					1	0.1
DeAs	1	0.0	3833	99.9	1	0.1				
Dccox	1	0.0	3834	99.9	1	0.1				
Decv	1	0.0	3835	99.9	1	0.1				
Dee	1	0.0	3836	100.0	1	0.1				
irC	1	0.0	3837	100.0	1	0.1				
TOTAL	3837	100.0			1880	100.0	721	100.0	1236	100.0
# tipos de silbidos	116				71		46		64	
# tipos de silbidos con un solo silbido	42									

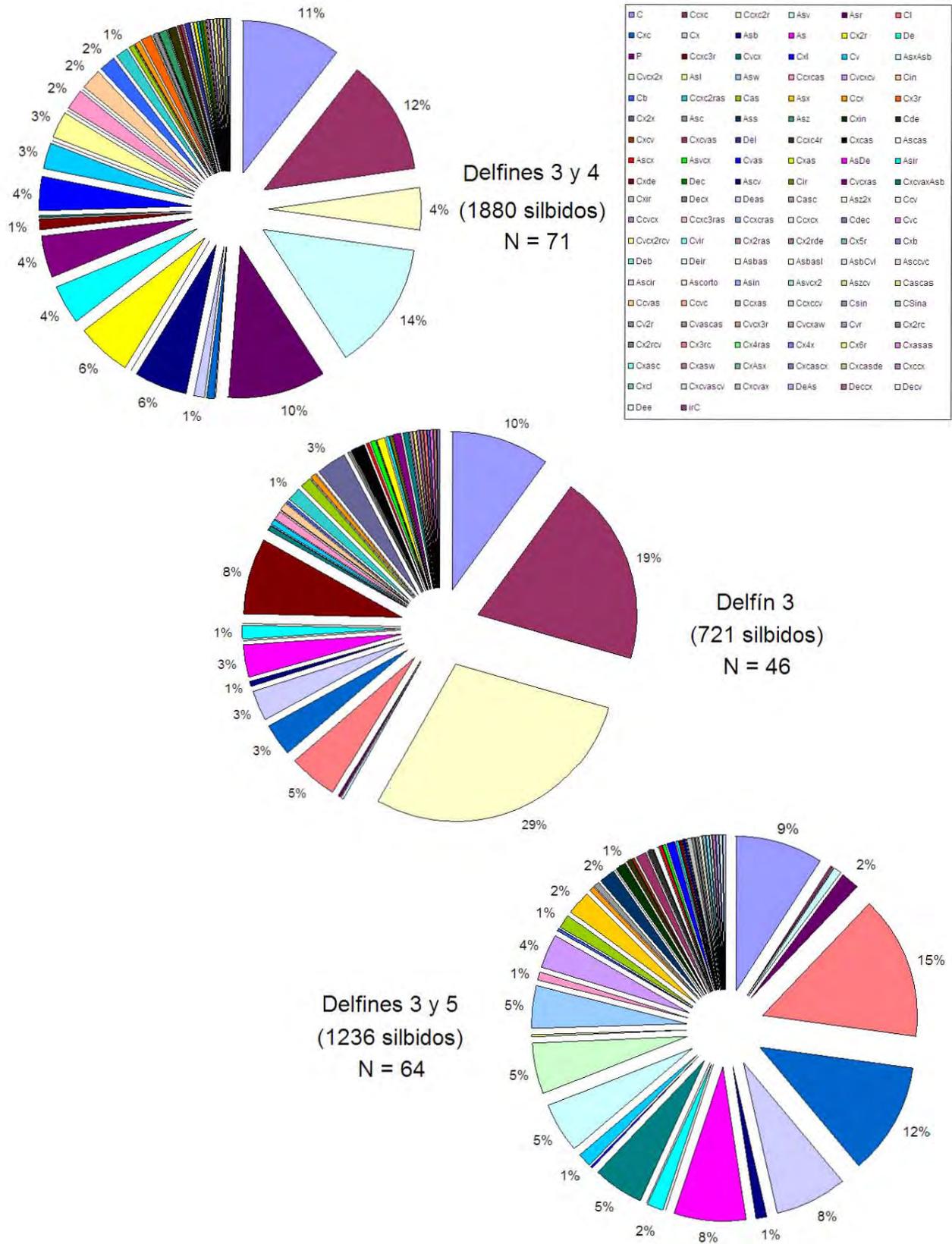


Figura 3.23. Ocurrencia de los distintos tipos de silbidos para los delfines del delfinario 2: “Atlantis”, mostrando el porcentaje para los tipos de silbidos que representaron más del 1.0% del total de los silbidos del repertorio de los delfines que coexistieron. N = número de tipos de silbidos.

Los contornos de mayor ocurrencia para los delfines 3 y 4 fueron los ascendentes de los tipos Asy, Asr y Asb, los constante-convexo-constante del tipo Ccxc, los constantes del tipo C y los descendentes del tipo De (Fig. 3.23, Tabla 3.35). Cuando el delfín 3 estuvo solo su repertorio estuvo dominado por silbidos de contorno constante-convexo-constante con una o más repeticiones de los tipos Ccxc, Ccxc2r y Ccxc3r y los contornos constantes del tipo C (Fig. 3.23, Tabla 3.35). Para los delfines 3 y 5 fueron los contornos constantes de los tipos Cl y C, los contornos constante-convexo-constante del tipo Ccxc, los contornos convexos del tipo Cx y los contornos ascendentes del tipo As (Fig. 3.23, Tabla 3.35).

Cuando el delfín 3 estaba solo o tenía distinto compañero su repertorio únicamente coincidió para 20 tipos, de los cuales los que más emitió cuando estuvo solo fueron los constante-convexo-constante del tipo Ccxc (19%) y los constantes del tipo C (10%). Los delfines 3 y 4 juntos también emitieron más los silbidos constante-convexo-constante del tipo Ccxc (12%) y los constantes del tipo C (11%), pero también emitieron más los silbidos ascendentes de los tipos Asv y Asr (24%). Los delfines 3 y 5 juntos también emitieron más los silbidos constantes del tipo C (9%), pero también emitieron más silbidos del tipo Cxc (12%).

El tipo de silbido que más emitió el delfín 3 cuando estaba solo, el tipo Ccxc2r (29%), también lo emitieron los delfines 3 y 4, pero con muy baja ocurrencia (4%). Además, los tipos de silbidos que más emitieron los delfines 3 y 5, el tipo Cl (15%) y el tipo Cxc (12%), el delfín 3 los emitió con muy baja ocurrencia (5 y 3%, respectivamente).

Para comprobar estadísticamente estas diferencias en el uso del repertorio de silbidos durante los cambios de compañero se aplicó una prueba de X^2 , encontrándose diferencias significativas con una $p = 0.001$ entre todos los cambios de compañero (Tabla 3.36). Esto indica que los delfines utilizaron sus silbidos de manera distinta cuando tuvieron distinto compañero.

Finalmente, se inspeccionaron los cambios en el uso de los silbidos diurnos y los nocturnos considerando categorías fijas de silbidos (Fig. 3.24). Tanto en el periodo diurno como el nocturno se emitieron en su mayoría silbidos ascendentes y múltiples (71.1% y 90%, respectivamente). Sin embargo, durante la noche se duplicó la emisión de silbidos

múltiples (21.4% diurnos vs. 48.9% nocturnos) y no se registraron silbidos descendentes. Además, la proporción de silbidos cóncavos y convexos se redujo a un 5.4%. Así, el uso de los distintos tipos de silbidos durante la noche fue significativamente diferente que durante el día ($X^2=33.20$ vs. $X^2_{Tabla p=0.001}=18.47$).

Tabla 3.36. Resultados de la prueba de X^2 de la comparación del número de silbidos de cada tipo obtenidos con la clasificación manual que fueron emitidos durante cada cambio de compañero en el delfinario 2: "Atlantis".

X^2	Delfin 3	Delfines 3 y 5	$X^2_{TABLA p=0.001}$
Delfines 3 y 4	6609*		112
Delfin 3		2485*	100
Delfines 3 y 4		7847*	112

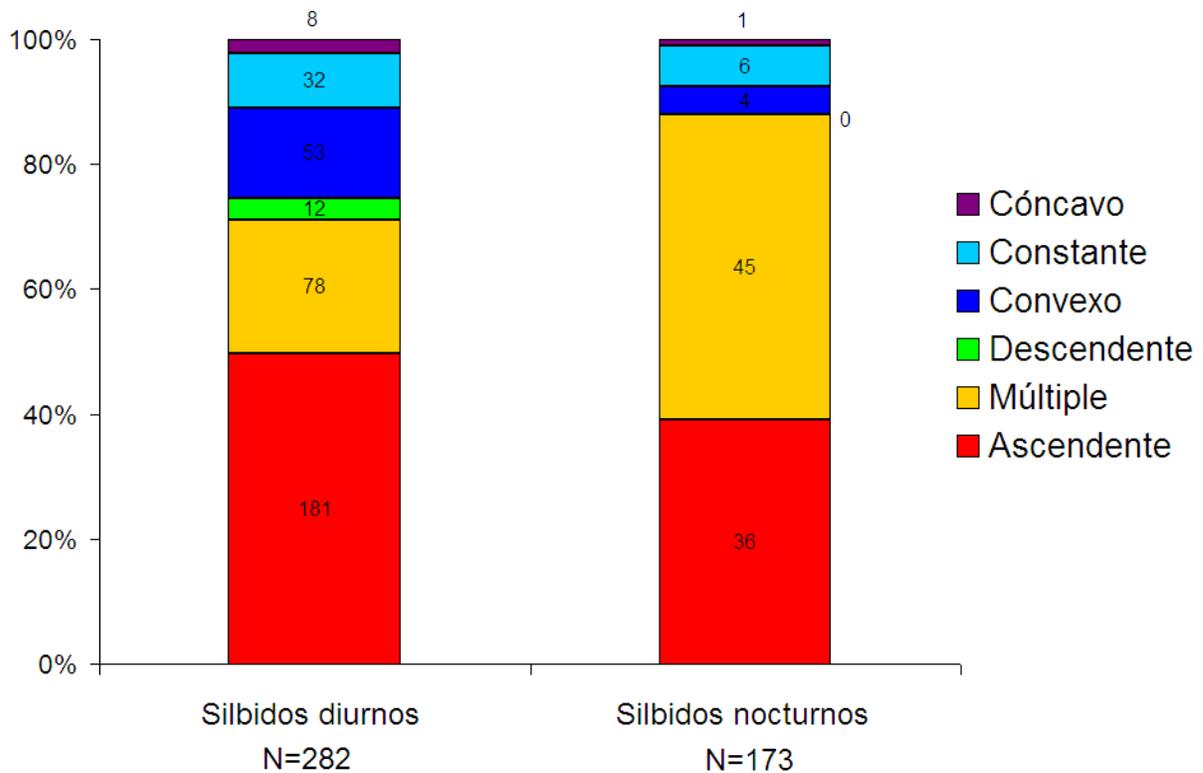


Figura 3.24. Uso de los distintos tipos de silbidos de acuerdo a su categoría fija de la clasificación manual obtenidos para los delfines 3 y 4 del delfinario 2: "Atlantis" durante el día y durante la noche.

III.4.4. Índice de riqueza del uso de los silbidos Delfinario 2: “Atlantis”

Al analizar la complejidad del repertorio de silbidos durante los cambios de compañero en el delfinario 2: “Atlantis” se observó un repertorio más complejo para el delfín 3 cuando se encontraba solo. Aunque para los delfines 3 y 4, y 3 y 5 el número de tipos de silbidos fue mayor (72 y 64, respectivamente vs. 48 para el delfín 3 cuando estuvo solo), es decir, su repertorio era más rico, la complejidad del repertorio cuando el delfín 3 coexistió, ya fuera con el delfín 4 o 5, fue semejante (Tabla 3.37). Además, para los silbidos del delfín 3 cuando se encontraba solo se obtuvo la mayor equitabilidad.

Tabla 3.37. Índice de riqueza o índice de diversidad de Shannon H' y equitabilidad E para los silbidos analizados de los tres delfines del delfinario 2: “Atlantis” con la clasificación manual. N = número de silbidos, S = número de tipos de silbidos, H_{max} = valor máximo de H' que se puede obtener para una S dada.

	Clasificación manual				
	N	S	H'	H_{max}	E
Repertorio conjunto delfines 3 y 4	1880	72	3.020	4.277	0.706
Repertorio individual delfín 3	721	48	2.539	3.871	0.656
Repertorio conjunto delfines 3 y 5	1236	64	3.101	4.159	0.746

III.4.4. Estereotipia en el Delfinario 2: “Atlantis”

El tipo de silbido de contorno convexo-constante, Cxc que utilizaron más frecuentemente ambos delfines del delfinario 1: “Six Flags” también lo emitió el delfín 3 del delfinario 2: “Atlantis” cuando estuvo solo, pero con poca ocurrencia: 3% de sus silbidos (24 silbidos). Al calcular la estereotipia de los silbidos de contorno Cxc emitidos por el delfín 3 se obtuvo una similitud del 90.5% (únicamente se utilizaron 21 silbidos porque para 3 silbidos no fue posible extraer el contorno). Entonces, estos silbidos Cxc son un tipo de silbido estereotípico para el delfín 3 y podría ser considerado como el tipo $Cxc3$ (Fig. 3.25).

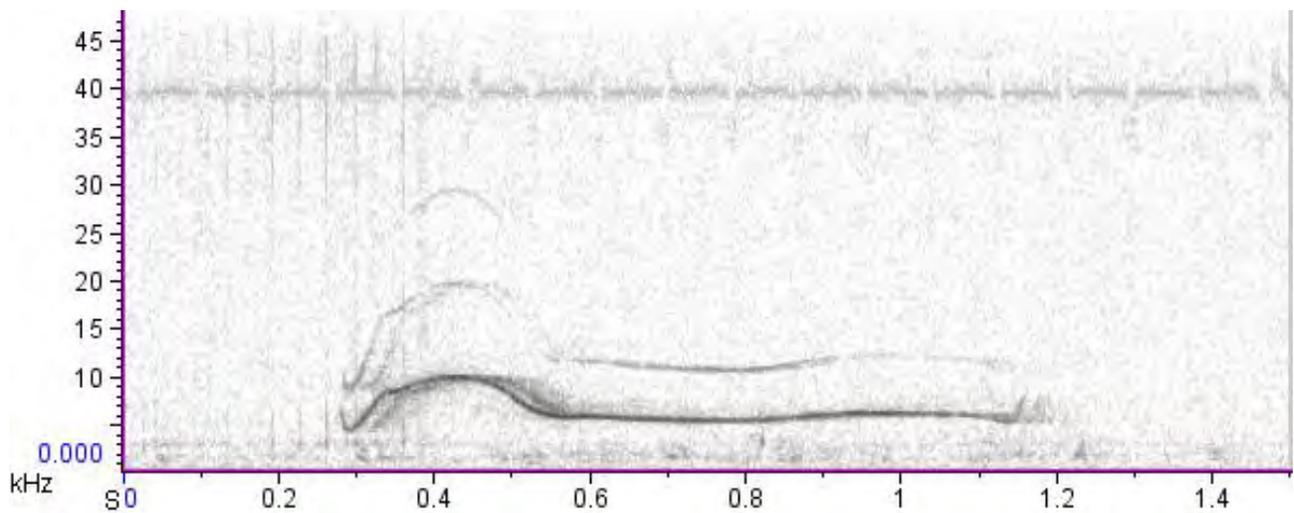


Figura 3.25. Espectrograma del tipo de silbido estereotípico Cxc3 producido por el delfín 3 del delfinario 2: “Atlantis” cuando estuvo solo (N = 24 silbidos).

Además, cuando el delfín 3 estuvo solo emitió principalmente silbidos de tipo Ccxc2r (29.0% del total) y Ccxc (19.3% del total) (Tabla 3.35). Al calcular la estereotipia de estos dos tipos de silbidos se obtuvo una similitud del 97.3% para el tipo Ccxc2r (con 129 silbidos) y del 92.7% para el tipo Ccxc (con 53 silbidos). Entonces, estos silbidos Ccxc2r y Ccxc son tipos de silbidos estereotípicos para el delfín 3 (Fig. 3.26). Los silbidos de tipo Ccxc2ras (11 silbidos) y Ccxcas (6 silbidos) fueron agrupados por la clasificación automatizada en la misma categoría que los tipos Ccxc2r y Ccxc, respectivamente, es decir, en conjunto tuvieron una similitud mayor al 90%. Por ello, se calculó la estereotipia de los tipos de silbidos Ccxc2r y Ccxc2ras en conjunto, así como para los tipos Ccxc y Ccxcas y se obtuvo una similitud del 96.3% para el tipo Ccxc2r-Ccxc2ras (con 220 silbidos del delfín 3) y del 92.9% para el tipo Ccxc-Ccxcas (con 128 silbidos del delfín 3). Entonces, estos silbidos Ccxc2r-Ccxc2ras y Ccxc-Ccxcas son tipos de silbidos estereotípicos para el delfín 3 y son el mismo tipo de silbido estereotípico mostrado en la Fig. 3.26.

Al incluir en el análisis de estereotipia los silbidos no adjudicados para los tipos Ccxc2r-Ccxc2ras y Ccxc-Ccxcas se obtuvo una similitud del 95.2% para el tipo Ccxc2r-Ccxc2ras (con 221 silbidos del delfín 3 y 63 silbidos no adjudicados de diferentes días) y del 92.7% para el tipo Ccxc-Ccxcas (con 128 silbidos del delfín 3 y 61 no adjudicados de diferentes días), sugiriendo que estos silbidos no adjudicados fueron emitidos por el delfín 3.

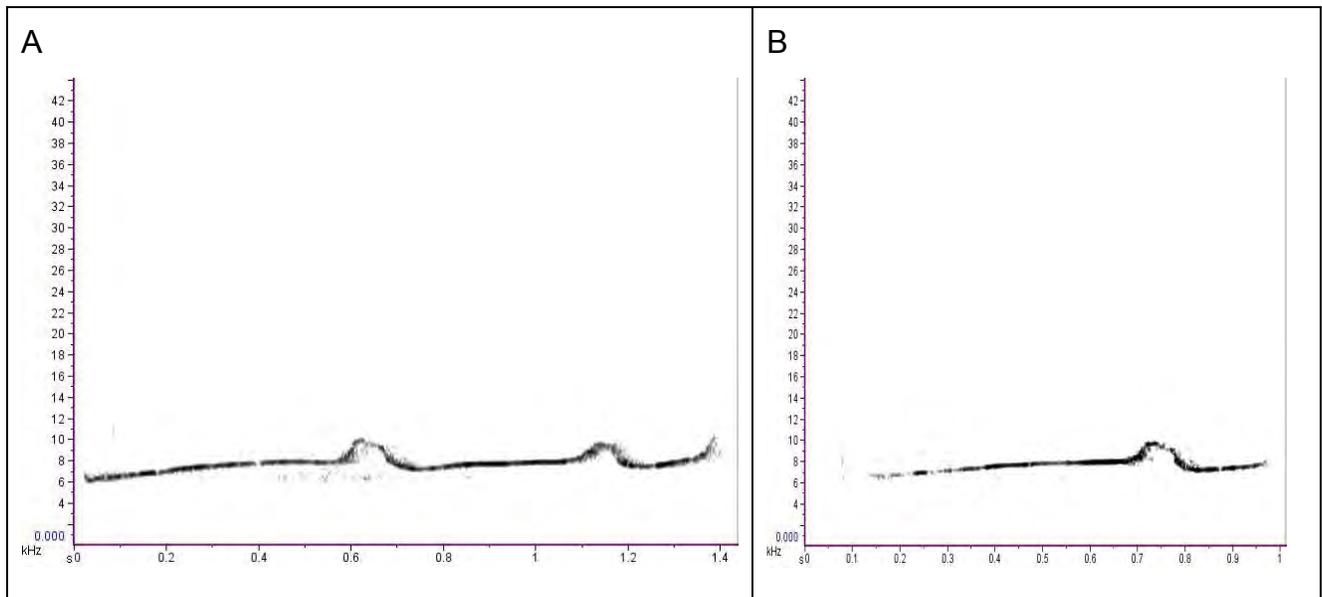


Figura 3.26. Espectrograma de los dos tipos de silbidos más usados por el delfín 3 del delfinario 2: “Atlantis” cuando estuvo solo: (A) tipo Ccxc2r (N = 209 silbidos) y (B) tipo Ccxc (N = 139 silbidos). Ambos silbidos son estereotípicos.

III.5. Discusión

III.5.1. Discusión Delfinario 1: “Six Flags”

Los dos delfines del delfinario 1: “Six Flags” emitieron muy pocos silbidos y, los pocos silbidos que emitieron, los hicieron durante el periodo diurno, es decir, la emisión de silbidos fue muy baja y heterogénea. Los delfines silbaron principalmente al aproximarse el horario de alimentación, aunque no siempre silbaron antes de que los alimentaran, ya que para el 26% de los días o el 90.8% de los minutos grabados no se registraron silbidos. Este hecho no se pudo atribuir a ninguna actividad particular que realizaran los delfines, además de que las variaciones observadas en la ocurrencia de silbidos no se asociaron con los parámetros fisicoquímicos del agua.

Cuando los delfines silbaban lo hacían principalmente con una ocurrencia de un silbido (34.9% de los minutos con silbidos), dos silbidos (20.1% de los minutos con silbidos) o tres silbidos en cada minuto (15.7% de los minutos con silbidos). En sólo cuatro minutos de los 4838 minutos grabados o 447 minutos con silbidos se observó la mayor ocurrencia, que fue de 15, 18, 20 y 21 silbidos por cada minuto. Además, los silbidos emitidos generalmente correspondieron casi todos al mismo emisor. Por ejemplo, en el caso de 15 silbidos en un minuto, 10 correspondieron al delfín 2, uno lo emitió el delfín 1 y los cuatro

restantes no fueron adjudicados. En el caso de los 18 silbidos en un minuto, los primeros 12 fueron emitidos por el delfín 2 y los siguientes 6 por el delfín 1 y 8 no fueron adjudicados. En el minuto con 20 silbidos, 12 correspondieron al delfín 2 y 8 no fueron adjudicados y en el caso de 21 silbidos en un minuto, 8 correspondieron al delfín 2 y 13 no fueron adjudicados. Es decir, cuando se pudieron adjudicar los silbidos, generalmente era un delfín el que silbaba; los delfines del delfinario 1: “Six Flags” pocas veces silbaron alternadamente. Entonces, los “diálogos” fueron poco frecuentes en la comunicación de los delfines 1 y 2. Como los silbidos fueron de muy corta duración (menos de 3 s), si la comunicación se diera alternando silbidos entre delfines, se esperaría una mayor proporción de minutos con silbidos con un mayor número de silbidos. Además, el día que se realizó el muestreo por 24 horas, los delfines del delfinario 1: “Six Flags” sólo silbaron durante el día y durante la noche estuvieron en reposo (estáticos en un lugar en la superficie), sugiriendo que los delfines adultos no silban durante la noche.

La tendencia en cuanto a la distribución de silbidos en categorías fijas de contornos (i.e., convexos, constantes, ascendentes, descendentes, cóncavos y múltiples) fue semejante con ambas clasificaciones (Fig. 3.12, 3.13), por lo que cuando se analizó el repertorio de silbidos del delfinario 1: “Six Flags” no existieron diferencias utilizando las clasificaciones manual o automatizada, aún cuando el número de categorías automatizadas fue del doble de las manuales.

Al considerar las categorías de silbidos que incluyen exclusivamente silbidos no adjudicados, se obtuvieron 14 para la clasificación manual y 26 para la automatizada, manteniendo una proporción semejante de 23 y 21% del total de categorías de cada clasificación (Fig. 3.6, 3.8). Sin embargo, cuando se analizó el repertorio de silbidos para cada delfín, el número de categorías exclusivas de cada individuo fue baja cuando se consideró la clasificación manual y alta cuando se consideró la clasificación automatizada. El delfín 1 emitió silbidos de 15% y el delfín 2 de 7% de los tipos de contorno manuales (nueve y cuatro tipos para los delfines 1 y 2, respectivamente), mientras que el delfín 1 emitió el 25% y el delfín 2 el 10% de los tipos de contorno automatizados (30 y 12 tipos para los delfines 1 y 2, respectivamente). Entonces, la clasificación automatizada aumentó en un 10% la proporción de tipos de silbidos exclusivos para el delfín 1 y sólo en un 3% para el delfín 2. Aunque el número de tipos de silbidos para cada delfín se triplicó cuando se clasificaron automatizadamente, los silbidos del delfín 1 fueron mucho más variables

que los silbidos del delfín 2. La clasificación manual no pudo encontrar estas diferencias, pero la automatizada sí. El índice de riqueza también mostró que la complejidad del repertorio de silbidos del delfín 1 fue de más del doble que la del delfín 2: el delfín 1 emitió un mayor número de tipos de silbidos y la distribución de silbidos en los distintos tipos fue más homogénea que para el delfín 2.

Además, los resultados indican que el que el número de tipos de silbidos automatizados sean el doble del número de tipos manuales no implica que cada tipo de silbido manual se haya subdividido en dos tipos por la clasificación automatizada, sino que la diversidad del repertorio se describe de manera distinta con ambas clasificaciones (Janik, 1999). Por ejemplo, los nueve tipos de silbidos manuales del delfín 1 se obtuvieron con 14 silbidos, mientras que los 30 tipos de silbidos automatizados del delfín 1 se obtuvieron con 185 silbidos. Para el delfín 2, los cuatro tipos de silbidos manuales se obtuvieron con 4 silbidos, mientras que los 12 tipos de silbidos automatizados se obtuvieron con 596 silbidos.

En delfines silvestres se ha determinado que los delfines comparten entre un 25 y un 45% de los tipos de silbidos de su repertorio (Watwood *et al.*, 2004). Los delfines 1 y 2 del delfinario 1: “Six Flags” compartieron 21 tipos de silbidos, que representaron el 53% y el 78% del repertorio para los delfines 1 y 2, respectivamente. Los tipos de silbidos determinados por este estudio provienen de delfines nadando libremente, mientras que en el estudio de Watwood *et al.* (2004) los delfines fueron sometidos a ciertas condiciones para obtener el repertorio de silbidos por delfín. Los delfines de la especie *T. truncatus*, entonces, deben compartir muchos más silbidos de su repertorio que lo que se describió por Watwood *et al.* (2004).

El índice de riqueza mostró que la complejidad del repertorio de silbidos de los delfines del delfinario 1: “Six Flags” se redujo debido a que los delfines emitieron principalmente un solo tipo de silbido (ya fuera de clasificación manual o automatizada). Además, el índice para la clasificación manual fue menor que para la automatizada, no sólo por tener un menor número de categorías, sino porque la distribución de los silbidos emitidos en los distintos tipos fue menos homogéneo (Fig. 3.12), como ya se mencionó. Con la clasificación manual se obtiene menor complejidad del repertorio de silbidos que con la automatizada.

Al analizar la complejidad del repertorio de silbidos cuando los delfines ocuparon los distintos estanques se observó un repertorio más complejo cuando los delfines estuvieron en el estanque oval 2 y uno más simple durante el cambio de estanque (Tabla 3.22). Sin embargo, los cambios en el repertorio para el delfinario 1: "Six Flags" de acuerdo al estanque en el que se encontraban los delfines no se debieron al cambio de estanque *per se*. Los incrementos puntuales en el tamaño del repertorio que no fueron el incremento inicial ni uno de los incrementos cuando los delfines estaban nadando en el estanque rectangular ocurrieron cuando los delfines realizaron actividades específicas, como eventos de conducta parasexual y juego (Fig. 3.27). Cuando los delfines regresaron al estanque oval ya había otros dos delfines en el estanque rectangular pequeño de los que estaban aislados física y visualmente, por lo que los 9 tipos de silbidos nuevos probablemente se debieron a la presencia de estos dos nuevos delfines (Fig. 3.27).

Cabe mencionar que se observó que los dos delfines en el estanque rectangular pequeño nunca silbaron mientras se realizó el muestreo, por lo que todos los silbidos registrados durante la realización de este estudio provinieron únicamente de los delfines 1 y 2. Sin embargo, como los delfines en el estanque rectangular pequeño sí silbaron cuando no se estaba grabando, se hicieron pruebas para determinar si los delfines 1 y 2 estaban o no aislados acústicamente del estanque rectangular pequeño. Se determinó que los silbidos registrados en el estanque oval principal no se registraban en el estanque rectangular pequeño con una buena relación señal-ruido, pero no se pudo determinar si un sonido emitido en el estanque rectangular pequeño se registraba en el estanque oval. Al principio del estudio, cuando los estanques oval principal y rectangular pequeño estaban interconectados, si un delfín silbaba en el estanque rectangular pequeño el silbido no se registraba en el estanque oval principal. Entonces, durante el muestreo de este estudio los delfines 1 y 2 probablemente tuvieron poco contacto acústico acuático con los nuevos delfines. Sin embargo, sí pudieron tener un muy buen contacto acústico aéreo.

Únicamente el silbido de tipo Deir (Fig. 3.28) se debió al cambio de estanque, porque fue producido cuando se cambiaron los delfines del estanque oval al rectangular y cuando se regresaron al estanque oval. Ningún otro tipo de silbido se pudo asociar al cambio de estanque en el delfinario 1: "Six Flags".

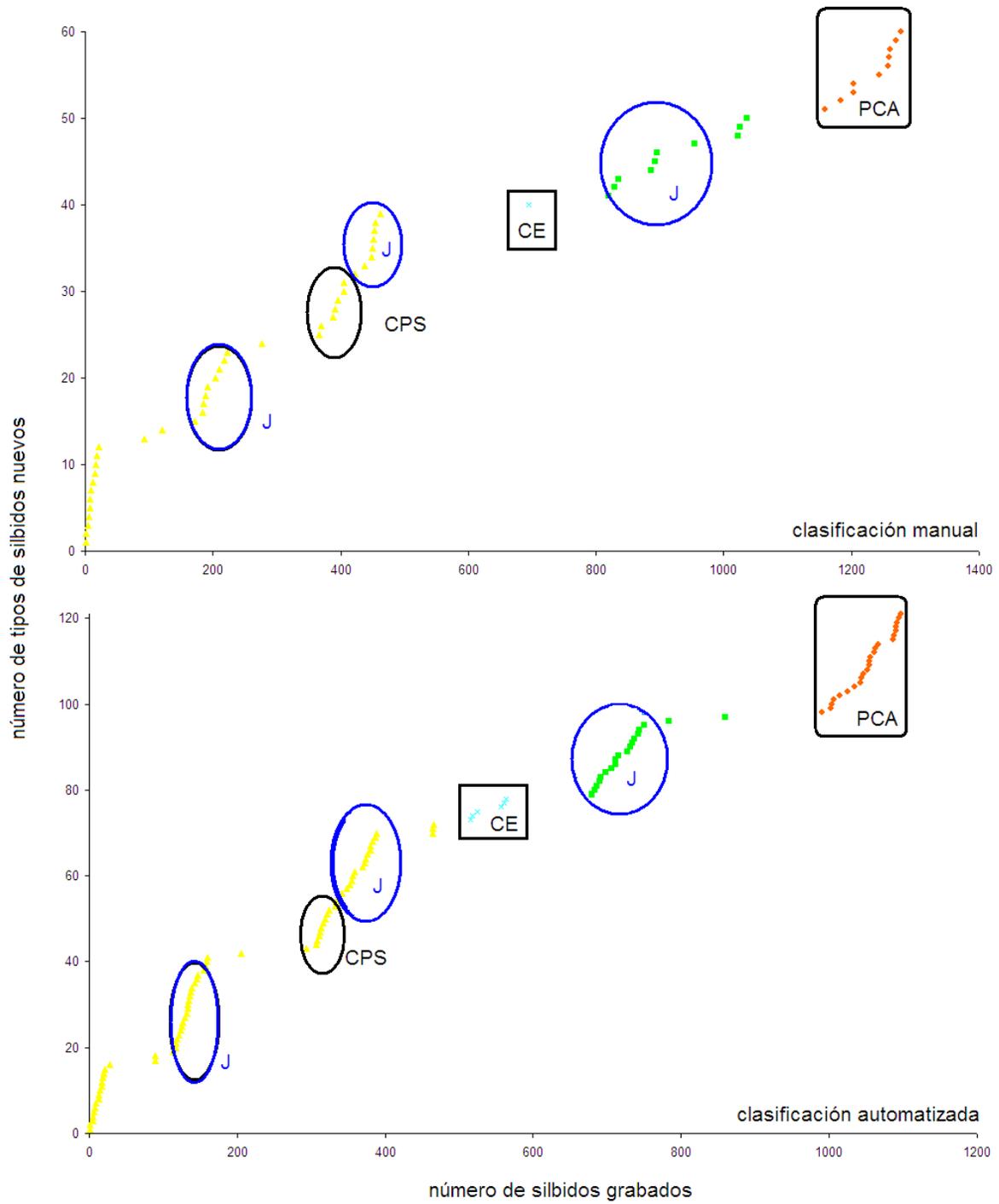


Figura 3.27. Curvas acumulativas para el delfinario 1: “Six Flags” del número de tipos de silbidos nuevos vs. el número de silbidos analizados, considerando las clasificaciones manual y automatizada y mostrando las situaciones que se suscitaron cuando hubo un incremento en el número de tipos de silbidos nuevos. CPS = eventos de conducta parasexual, J = juego, CE = cambio de estanque y PCA = probable contacto acústico con otros dos delfines que se encontraban en el estanque rectangular pequeño cuando los delfines 1 y 2 regresaron al estanque oval. Amarillo: estanque oval 1, azul: día del cambio de estanque, verde: estanque rectangular y naranja: estanque oval 2.

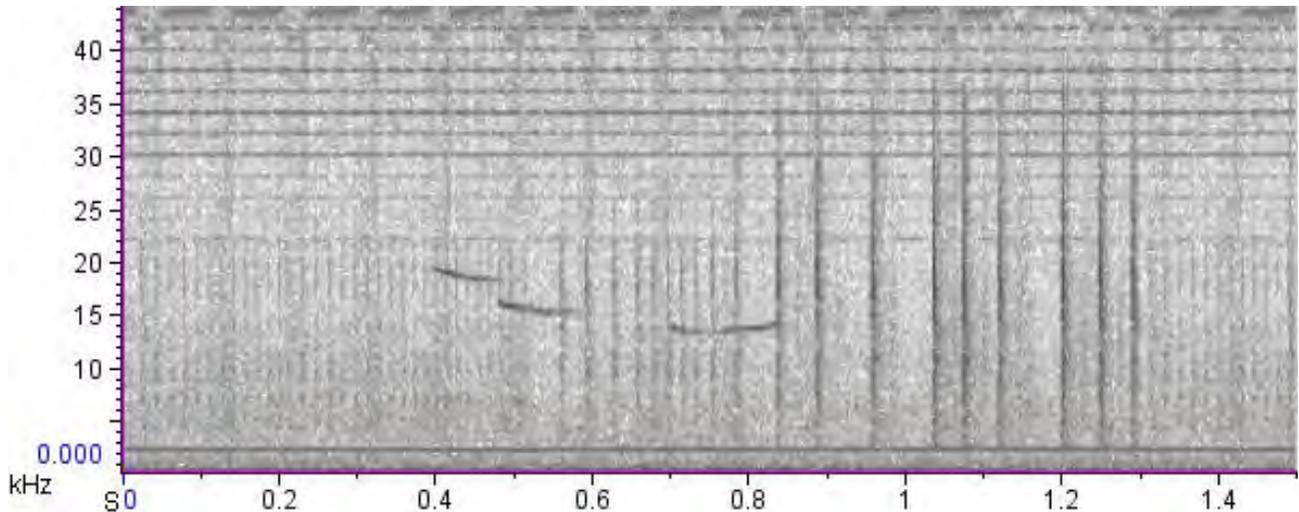


Figura 3.28. Espectrograma del tipo de silbido Deir que fue registrado únicamente cuando los delfines 1 y 2 del delfinario 1: "Six Flags" fueron cambiados de estanque.

Como el número de tipos de silbidos está influenciado por las actividades que realizan los delfines, es posible que el repertorio de silbidos de los delfines del delfinario 1: "Six Flags" puede ser más amplio del registrado durante este estudio si se realiza un nuevo muestreo y se presentan nuevas actividades por los delfines.

Del análisis de estereotipia de los silbidos más ocurrentes adjudicados a cada delfín se encontró que el silbido de tipo Cxc de la clasificación manual correspondió a los silbidos Cxc1 y Cxc2 de la clasificación automatizada que fueron emitidos por el delfín 1 y 2, respectivamente (Fig. 3.15). Además, el silbido de tipo Cxc1 emitido por el delfín 1 fue mucho más estereotípico (con una similitud de 98.2%) que el silbido de tipo Cxc2 emitido por el delfín 2 (con una similitud de 94.6%). Así, la clasificación automatizada discriminó los silbidos estereotípicos de cada delfín. Estos silbidos estereotípicos probablemente puedan ser considerados como los silbidos firma descritos por otros autores (p. ej., Caldwell & Caldwell, 1965; Caldwell *et al.*, 1990).

Finalmente, se encontró que se grabaron mucho más silbidos para el delfín 2 que para el delfín 1 (749 vs. 311 silbidos, más 305 no adjudicados, Fig. 3.11 3.14). Sin embargo, el día que los delfines fueron cambiados de estanque, el delfín 1 fue el primero en ser trasladado y, entonces, el delfín 1 silbó mucho más que el 2 (130 vs. 14 silbidos, más 73 no adjudicados), emitiendo principalmente el silbido de tipo Cxc1 (105 de los 147 silbidos

de tipo Cxc1 grabados para el delfín 1). Los silbidos firma se han considerado portadores de información del individuo (Caldwell & Caldwell, 1965; Caldwell *et al.*, 1990) y funcionan como llamadas de cohesión (Ralston & Herman, 1989; Janik & Slater, 1998; Tyack, 2000). Es decir, cuando un miembro se separa de su grupo emite su silbido firma hasta que se reúne con su manada (Janik & Slater, 1998). Otros autores lo han denominado como llamada de estrés (Herzing, 2005). El cambio de estanque representó una situación de estrés y aislamiento para el delfín 1 porque fue el primero en ser capturado y trasladado. Durante el periodo en el que se introdujeron las redes en el estanque oval 1, ambos delfines emitían silbidos esporádicamente (0.25 silbidos/min grabado). Unos minutos antes de que el delfín 1 fuera capturado la tasa de emisión incrementó hasta 20 silbidos por cada minuto. Cuando el delfín 1 fue capturado, los silbidos cesaron y el delfín 2 no volvió a emitir silbidos en el estanque oval 1. Cuando el delfín 1 fue introducido al estanque rectangular, comenzó la emisión de su silbido de tipo Cxc1 con una de las mayores tasas de emisión de todo el muestreo (13 silbidos por cada minuto). Hasta que el delfín 2 fue introducido al estanque rectangular, la tasa de emisión de silbidos se redujo a 0.65 silbidos/min grabado, con hasta 7 silbidos por cada minuto; se emitieron apenas 15 silbidos entre los dos delfines, de los cuales dos silbidos fueron del tipo Cxc1 y otros dos del tipo Cxc2. Los delfines 1 y 2, 32 minutos después de reunidos, volvieron a cesar la emisión de silbidos. Se ha encontrado que los delfines aumentan su tasa de emisión de silbidos durante un evento de captura y liberación (Esch, 2006: durante el seguimiento de delfines la tasa fue de 0.03 silbidos/min vs. la captura y liberación con 14.3 silbidos/min), de la misma manera que se encontró en este estudio.

Lo que resulta interesante es el hecho de que el delfín 1 sí empleó su silbido del tipo Cxc1 como llamada de cohesión en el estanque nuevo, mientras que el delfín 2, que usualmente era el más silbador, permaneció en silencio mientras estuvo solo y no volvió a emitir silbidos hasta estar reunido con su compañero en el estanque rectangular. Si ambos delfines estaban separados, ¿por qué únicamente se emitieron silbidos de tipo Cxc1 por el delfín 1? Además, los silbidos de tipo Cxc1 probablemente también se usaron como llamada de estrés por el delfín 1 porque también se emitieron cuando introdujeron las redes al estanque oval 1. Los silbidos tipo Cxc2 serían llamada de estrés para el delfín 2 porque se emitieron cuando se introdujeron las redes al estanque oval 1.

Los resultados de este estudio, además, denotan la individualidad de los delfines, ya que ambos respondieron de una manera diferencial ante una misma situación en cuanto a la tasa de emisión de silbidos. Los delfines machos en vida silvestre casi nunca emiten su silbido firma y, cuando son separados de sus compañeros, lo emiten con mucha frecuencia (Watwood *et al.*, 2005). Para el delfín 1, que es un macho, casi no se le adjudicaron silbidos. Además, casi la mitad de los silbidos adjudicados a este delfín fueron grabados durante su estancia solo en el estanque rectangular (130 de 311 silbidos) y fueron casi todos del tipo Cxc1 (105 silbidos). Esto indica que del delfín 1 en cautiverio se comportó acústicamente como los delfines *T. truncatus* machos silvestres estudiados por Watwood *et al.* (2005) en Australia.

III.5.2. Discusión Delfinario 2: “Atlantis”

Los tres delfines del delfinario 2: “Atlantis” silbaron mucho; sólo en dos de los 21 días de grabación para los delfines 3 y 4 y en uno de los dos días en que se grabó al delfín 3 cuando se encontraba solo no se registró ningún silbido (Tabla 3.28). El que los delfines 3 y 4 no silbaran durante los dos días coincidió con el aseo del estanque después de un día de lluvia fuerte, cuando se usaba una aspiradora. Durante la operación de este aparato se emitió un sonido, al momento de desplazarse la boca de la aspiradora por el fondo del estanque, que está dentro del ancho de banda de los silbidos de los delfines y se escucha muy parecido a los silbidos. Entonces, si un humano los pudo confundir, probablemente los delfines también los podrían confundir y es por ello que no emitieron silbidos. Otra explicación, es que como este sonido era muy repetitivo y con muchos armónicos representaba un ruido constante en el estanque. Los delfines tienden a disminuir sus emisiones acústicas ante la presencia de ruido (Janik, 2009).

El día que el delfín 3 estaba solo y no silbó mostró un comportamiento de aislamiento del exterior. Durante la hora que se grabó el delfín 3, éste estuvo nadando en círculos continuamente, no emitió ningún sonido y no respondió a las solicitudes de atención. Probablemente, el delfín 3 estaba “deprimido”, aunque ya llevaba varios días solo.

La tasa de emisión de silbidos de los tres delfines del delfinario 2: “Atlantis” fue muy alta, por lo que, aunque no se adjudicaron los silbidos al delfín emisor, probablemente los “diálogos” fueron frecuentes en la comunicación de los delfines 3 y 4 y entre los 3 y 5. Para la etapa en que convivieron los delfines 3 y 4 se presentó la menor tasa de emisión del delfinario 2: “Atlantis” (0.78 silbidos/min grabado) y, cuando el delfín 3 se quedó solo, la tasa de emisión del delfinario 2: “Atlantis” se cuadruplicó (3.40 silbidos/min grabado, Tabla 3.28, Fig. 3.18); y se hubiera sextuplicado (4.74 silbidos/min grabado) si es que en uno de los dos días que se grabó al delfín 3 cuando se encontraba solo no se hubiera quedado mudo. Cuando coexistieron los delfines 3 y 5, la tasa de emisión de silbidos fue la más alta del delfinario 2: “Atlantis” (11.20 silbidos/min grabado). Entonces, es probable que el delfín 3 silbó mucho más cuando estaba solo o con el delfín 5 que cuando estaba con el delfín 4. Los entrenadores del delfinario 2: “Atlantis” sugieren que los delfines adultos tienden a “reprimir” a los juveniles, por lo que posiblemente el delfín 4, que era un adulto, no permitió al delfín 3 silbar tanto como él hubiera deseado. Se ha reportado que los *T. truncatus* silvestres cuando están solos forrajeando tienen una tasa de emisión de silbidos mayor que cuando se encuentran en grupo (Nowacek, 2005; Herzing, 2005). Aunque el delfín 3 no estaba alimentándose todo el tiempo, probablemente mostró un comportamiento acústico similar a los delfines silvestres.

El día que se realizó el muestreo por 24 horas, los delfines 3 y 4 del delfinario 2: “Atlantis” silbaron tanto durante el día como durante la noche, cesando de silbar al atardecer. Aunque el delfín 4 era un adulto, como no se realizó la localización de la fuente de los silbidos nocturnos, no es posible definir si los delfines adultos no silban durante la noche. Éste es el primer reporte del que se tiene conocimiento de la emisión nocturna de silbidos para los delfines de la especie *T. truncatus*.

La categorización de los silbidos de forma manual para el delfinario 2: “Atlantis” fue muy complicada, especialmente para los delfines 3 y 5, ya que los contornos de los silbidos fueron muy variables, habiendo una gran cantidad de silbidos sinusoidales de diversos tipos. Entonces, para los silbidos analizados se optó por agrupar los tipos que presentaban una mayor semejanza. Aún así, existieron 45 tipos de silbidos con un solo silbido (37.5% de los tipos de silbidos). Este hecho coincide con lo descrito por McCowan & Reiss (1995^b), quienes encontraron que hay contornos compartidos entre crías y entre

crías y adultos, además de que la estructura acústica de los mismos se va modificando con la edad, siendo los contornos de silbidos de las crías más variables que los de los adultos.

Sin embargo, para el delfinario 2: “Atlantis” también se grabaron silbidos con una estructura bastante estable. Al analizar la estereotipia del silbido de tipo Cxc más emitido por los delfines del delfinario 1 (Fig. 3.15), que también produjo el delfín 3, se encontró que este tipo de silbido emitido por el delfín 3 fue estereotípico, aunque con una similitud mucho menor que los silbidos tipo Cxc de los delfines 1 y 2.

Además, los tipos de silbidos Ccxc y Ccxc2r, que fueron de los más usados en todo el muestreo y cuando el delfín 3 estuvo solo (Tabla 3.26, Fig. 3.26), también fueron estereotípicos y fueron silbidos emitidos por el delfín 3, por lo que podrían ser el silbido estereotípico o “firma” del delfín 3. Se ha descrito que los “silbidos firma” en poblaciones silvestres consisten de silbidos que tienen contornos con patrones repetitivos (Sayigh *et al.*, 1990; Sayigh *et al.*, 2007). Este podría ser el caso del delfín 3, que cuando estuvo solo, emitió principalmente silbidos del tipo Ccxc (19%) y repeticiones de este tipo Ccxc, el tipo Ccxc2r (29%).

El tipo de silbido AsxAsb grabado cuando convivieron los delfines 3 y 5 también tuvo una estructura bastante estable, por lo que este tipo de silbido probablemente también sea estereotípico y podría corresponder al delfín 5. Es necesario realizar el análisis de estereotipia para este tipo de silbido para definir su similitud. Sin embargo, no podrá ser adjudicado al delfín 5 porque no se pudieron adjudicar estos silbidos a ningún delfín.

El repertorio de silbidos obtenido manualmente para el delfinario 2: “Atlantis” consistió de 116 tipos, de los cuales 46 fueron emitidos por el delfín 3: 21 tipos que se presentaron durante todo el muestreo, 14 tipos que se presentaron cuando el delfín 3 estuvo solo, 9 tipos que también se emitieron cuando los delfines 3 y 4 coexistían y 3 tipos que también se emitieron cuando los delfines 3 y 5 coexistían. Cuando el delfín 3 estuvo acompañado se emitieron 12 tipos de silbidos que no hizo cuando estuvo solo. Entonces, es probable que los 12 tipos de silbidos emitidos cuando el delfín 3 estuvo acompañado los haya emitido el delfín 3 y que estos tipos requieren la presencia de un receptor evidente para ser usados. De igual manera, los 14 tipos que se presentaron cuando el delfín 3 estuvo

solo probablemente no son para diálogo. No debe descartarse la posibilidad de que los 12 tipos de silbidos producidos cuando el delfín 3 estuvo acompañado fueron emitidos por los delfines 4 y 5 y no sólo por el delfín 3, ya que se sabe que los delfines comparten tipos de silbidos en su repertorio aunque no hayan estado en contacto acústico. En el delfinario 2: “Atlantis” ningún tipo de silbido se pudo asociar al cambio de compañero, aunque se haya encontrado que el repertorio de silbidos cambió.

Además, el repertorio de los delfines 3 y 4 consistió de 29 tipos que sólo se presentaron cuando el delfín 4 estaba presente, implicando que o eran propios del delfín 4 o bien el delfín 3 sólo los emitió en presencia del delfín 4. De igual manera, el repertorio de los delfines 3 y 5 consistió de 28 tipos de silbidos que sólo se presentaron cuando el delfín 5 estaba presente, implicando que o eran propios del delfín 5 o bien el delfín 3 sólo los emitió en presencia del delfín 5. Así, el número de tipos de silbidos exclusivos del repertorio para los delfines 3 y 4 y para los delfines 3 y 5 fue comparable y, curiosamente, es el doble de los tipos de silbidos que únicamente se encontraron cuando el delfín 3 estuvo solo (14 tipos). Entonces, se podría suponer que aproximadamente 14 tipos de silbidos corresponden a un delfín particular.

Los tipos de silbidos que más emitieron los delfines 3 y 5, el tipo Asr (15%) y el tipo Cxc (12%), el delfín 3 los emitió con muy baja ocurrencia cuando estuvo solo (5 y 3%, respectivamente), y unos de los tipos de silbidos que más emitieron los delfines 3 y 4, los tipos Asv (14%) y Cl (10%), el delfín 3 los emitió con muy baja ocurrencia cuando estuvo solo (0.1 y 0.4%, respectivamente). Además, los dos tipos de silbidos que más produjo el delfín 3 cuando estaba sólo, los tipos Ccxc2r y Ccxc, los delfines 3 y 5 los emitieron con muy baja ocurrencia (0 y 0.3%, respectivamente). El delfín 3 emitió el 66% de sus silbidos de cuatro tipos cuando estuvo solo y, cuando tuvo compañero, se observó una distribución de silbidos en los distintos tipos más equitativa tanto cuando estuvo con el delfín 4 como con el delfín 5, aunque no fueran los mismos tipos de silbidos (Fig. 3.23): por esta alta equitabilidad (Tabla 3.37), la complejidad del repertorio de silbidos del delfín 3 cuando estuvo solo fue más alta que cuando estuvo acompañado. Es notable cómo cambia el uso de los silbidos al quedar un individuo solo.

Como ya se mencionó, cuando el delfín 3 estuvo solo emitió principalmente silbidos constante-convexo-constante del tipo Ccxc, Ccxc2r y Ccxc3r (56% de los silbidos del

delfín 3). El tipo de silbido que más emitió el delfín 3 cuando estaba solo, el tipo Ccxc2r (29%), también lo emitieron los delfines 3 y 4, pero con menor ocurrencia (4%) y no lo emitieron los delfines 3 y 5. Entonces, es probable que los silbidos constante-convexo-constante sean usados por el delfín 3 como llamadas de cohesión, esperando que haya un receptor. Es decir, el delfín 3 mientras estuvo solo buscaba compañero acústicamente. Esto también explica el hecho de que en uno de los dos días grabados, el delfín 3 no emitió sonido alguno.

Por último, se observó que el uso del repertorio de silbidos fue distinto durante el día y durante la noche para los delfines 3 y 4. Estas diferencias se podrían atribuir a la actividad nocturna que presentaron los delfines alrededor de las 02:00 horas previo a un periodo de silbidos nocturnos: el delfín 3 se salió del estanque y reptó sobre la plataforma. Este comportamiento nunca se observó durante el día. Desgraciadamente, durante la noche no se observó claramente abajo del agua aunque se escuchaba cómo se movía el agua violentamente, por lo que los demás eventos acústicos no se pudieron asociar a otras actividades realizadas por los delfines.

III.5.3. Comparación entre delfinarios

Para realizar la comparación entre delfinarios se deben considerar las características de cada uno de los delfines, ya que dependiendo del sexo, la edad (John & Sayigh, 2002) y el lugar de captura (Bazúa-Durán, 2004) es cómo será el comportamiento acústico de los delfines. Para el delfinario 1: “Six Flags” se grabaron dos delfines adultos, un macho (D1) y una hembra (D2) que tenían más de 6 años de cohabitar en el mismo espacio y provenían de una población del Océano Pacífico, mientras que para el delfinario 2: “Atlantis” se grabaron dos hembras, una juvenil (D3) y una adulta (D4) que tenían aproximadamente un año de cohabitar y un macho juvenil (D5) recién llegado, los tres provenientes del Golfo de México.

Los delfines silban mucho más cuando son jóvenes (Caldwell *et al.*, 1990), y lo hacen menos frecuentemente después de varios años de convivencia (p. ej., 4 años, Smolker & Pepper, 1999). Como la ocurrencia de silbidos fue mucho mayor en el delfinario 2:

“Atlantis” (0.28 silbidos/min grabado vs 1.27 silbidos/min grabado en el delfinario 1: “Six Flags”, además de que la distribución de silbidos en cada minuto resultó significativamente diferente entre delfinarios: $X^2=1008$ vs. $X^2_{Tabla p=0.001}=57$), esto se puede deber a la edad y al tiempo de coexistencia entre delfines: los delfines del delfinario 2: “Atlantis” eran juveniles y llevaban poco tiempo coexistiendo y los del delfinario 1: “Six Flags” eran adultos y llevaban mucho más tiempo coexistiendo.

Además, para los delfines juveniles el repertorio de silbidos es muy variable (amplio) (McCowan, 1995; Harley, 2008). Entonces, considerando únicamente el repertorio de los delfines juveniles 3 y 5 del delfinario 2: “Atlantis”, se tiene que el tamaño del repertorio fue de 66 tipos de silbidos clasificados manualmente durante el único día que se grabaron estos delfines. Para el delfinario 1: “Six Flags”, en 35 días de grabación se obtuvo un repertorio de 60 tipos de silbidos para los dos delfines adultos. Estos resultados confirman que para los delfines en cautiverio los juveniles tienen un repertorio mucho más amplio que los adultos.

Así, los delfines 3 y 5 del delfinario 2: “Atlantis” tuvieron mayor complejidad en su repertorio de silbidos (tamaño del repertorio y cómo lo usaron) que los delfines del delfinario 1: “Six Flags”, como lo indicó el índice de riqueza, debido a que eran animales jóvenes que llevaban poco tiempo en coexistencia.

Se ha comprobado que los delfines tienen aprendizaje social (Janik & Slater, 2000), que existen silbidos compartidos por el grupo o manada (McCowan *et al.*, 1998) y que los delfines son capaces de imitar acústicamente a otros delfines con los que tienen contacto acústico (Tyack, 1986). En este estudio se encontraron 34 tipos de silbidos compartidos por los delfines de ambos delfinarios (Tabla 3.38, Fig. 3.7 vs. 3.20) que representaron el 53% del repertorio del delfinario 1: “Six Flags” y el 26% del repertorio del delfinario 2: “Atlantis”. Además, el 92% de los silbidos emitidos en el delfinario 1: “Six Flags” y el 63% de los silbidos en el delfinario 2: “Atlantis” fueron de estos 34 tipos. Estos delfines provienen de poblaciones distantes (Océano Pacífico y Golfo de México) y nunca han entrado en contacto acústico. Entonces, estos resultados sugieren que existen silbidos “universales” para las diferentes poblaciones de delfines de la misma especie que se usan frecuentemente (Bazúa Durán, 2004). Esta individualidad acústica por especie en el repertorio de silbidos, en el caso de poblaciones silvestres, ha sido útil para reconocerlas

acústicamente, como Oswald *et al.* (2003), quienes tuvieron un éxito del 41% para identificar cada especie entre 9 especies de delfínidos. Recientemente, se realizaron estudios de silbidos compartidos por distintas poblaciones de orcas (*Orcinus orca*) que sugieren que los silbidos compartidos podrían proveer un medio de reconocimiento que facilitara la asociación y afiliación entre miembros de diferentes clanes (Riesch *et al.*, 2006).

Tabla 3.38. Tipos de silbidos compartidos entre los delfinarios 1: "Six Flags" y 2: "Atlantis", mostrando el número de silbidos emitidos en cada delfinario de cada tipo.

Tipo de silbido	N Delfinario 1: "Six Flags"	% de uso	N Delfinario 2: "Atlantis"	% de uso
Cxc	892	65.3	184	4.8
C	66	4.8	385	10.0
As	53	3.9	118	3.1
De	26	2.8	108	2.8
Cx	17	1.2	137	3.6
AsDe	16	1.2	7	0.2
P	11	0.8	82	2.1
Asr	11	0.8	220	5.7
Cxcv	10	0.7	15	0.4
Asx	10	0.7	30	0.8
Cv	10	0.7	70	1.8
Asb	8	0.6	124	3.2
Cv2r	7	0.5	1	0.0
Cxb	7	0.5	2	0.1
Cas	7	0.5	32	0.8
Asv	7	0.5	266	6.9
Cir	6	0.4	5	0.1
Cx2ras	5	0.4	2	0.1
Asir	5	0.4	6	0.2
Cxas	5	0.4	8	0.2
Cvcx	5	0.4	75	2.0
Cx2r	5	0.4	110	2.9
Cl	5	0.4	220	5.7
Cde	4	0.3	15	0.4
Deir	3	0.2	2	0.1
Cxl	3	1.9	74	1.9
Del	2	0.1	13	0.3
Asc	2	0.1	20	0.5
Cx3r	2	0.1	22	0.6
Cxccx	1	0.1	1	0.0
Cdec	1	0.1	2	0.1
Cvir	1	0.1	2	0.1
Dec	1	0.1	6	0.2
Cb	1	0.1	39	1.0
TOTAL	34	1215	2403	62.7

Aunque en conjunto los 34 tipos de silbidos compartidos fueron usados frecuentemente por los delfines de ambos delfinarios, el uso particular de cada uno de estos tipos de silbidos compartidos fue muy diferente entre delfinarios. En el delfinario 1: “Six Flags” seis de estos 34 tipos representaron más del 1% de los silbidos emitidos (79% en total), siendo el tipo Cxc el más emitido (65.5%). En el delfinario 2: “Atlantis” 15 de estos 34 tipos representaron más del 1% de los silbidos emitidos (92% en total), siendo el tipo C el más emitido (10%). El que Oswald *et al.* (2003) obtuviera una baja tasa de identificación por especie probablemente se deba a esta diferencia en el uso de los distintos tipos de silbidos por individuos de la misma especie, además de que probablemente también existan tipos de silbidos compartidos entre especies de delfínidos.

Para los tres delfines de los dos delfinarios para los que se pudieron adjudicar los silbidos emitidos (i.e., los delfines 1, 2 y 3) se encontró que emitían silbidos estereotípicos, lo que sugiere que todos los delfines de la especie *T. truncatus* probablemente emiten silbidos estereotípicos. Estos silbidos estereotípicos podrían ser considerados como los silbidos firma descritos por otros autores (p. ej., Caldwell & Caldwell, 1965; Caldwell *et al.*, 1990), aunque se encontró que los silbidos poco emitidos también pueden ser estereotípicos (i.e., el tipo de silbido Cxc3 del delfín 3).

III.6. Conclusiones

Se encontró que la emisión de silbidos no fue homogénea a lo largo del tiempo para los cinco delfines estudiados, ni durante todo un día (ciclo de 24 horas), ni durante el tiempo que se grabó cada día de muestreo. En ningún caso se encontró una relación entre la variación de la emisión de silbidos y los parámetros fisicoquímicos del agua. En el delfinario 2: “Atlantis”, una baja tasa de emisión de silbidos se asoció con el uso de una aspiradora que emitió un sonido dentro del ancho de banda de los silbidos y con el hecho de que el delfín 3 estuvo solo y probablemente “deprimido”. Por ello, es necesario conocer los hábitos de los delfines a estudiar para asegurar un muestreo representativo.

Además, la ocurrencia y el repertorio de silbidos cambiaron durante las diferentes situaciones que se presentaron en cada delfinario, el cambio de estanque en el delfinario

1: “Six Flags” y el cambio de compañero en el delfinario 2: “Atlantis”. En el delfinario 2: “Atlantis” los cambios en la ocurrencia y el repertorio de silbidos sí se debieron al cambio de compañero *per se*. En el delfinario 1: “Six Flags”, con la excepción de un tipo silbido (el tipo Deir), los cambios no fueron por el cambio de estanque *per se*, sino por otras situaciones asociadas al comportamiento no acústico de los delfines, como lo fueron la interacción con objetos, que se describió como “juego”, la interacción entre individuos que ocurrió como “conducta parasexual” y por tener un probable contacto acústico con otros delfines. Por ello, siempre se deben tomar datos de los eventos que ocurren durante los muestreos, tales como el comportamiento no acústico, los cambios de estanque y los cambios de compañero utilizados por este estudio para poder relacionar e interpretar los resultados acústicos obtenidos y tener una mejor comprensión de la comunicación de los delfines mediante silbidos.

En el delfinario 1 “Six Flags” los delfines silbaron poco y de un silbido por un silbido, lo cual facilitó el análisis de los silbidos, pero hizo que el esfuerzo de muestreo fuera muy extenso. En el delfinario 2: “Atlantis” la emisión de silbidos fue mayor, por lo que se requirió de un menor esfuerzo de muestreo para obtener un número de silbidos semejante al obtenido en el delfinario 1 “Six Flags”. Sin embargo, los delfines emitieron más silbidos traslapados unos con otros, siendo un caso extremo el de los delfines 3 y 5, quienes en un día de muestreo emitieron más de 1000 silbidos, lo cual dificultó el análisis de los silbidos.

Esta individualidad en el comportamiento acústico debe ser considerada cuando se estudian delfines silvestres. Es posible que al grabar delfines adultos se encuentren silbidos emitidos principalmente por un individuo. En el caso de que haya crías o juveniles en la manada grabada, se esperaría tener mayor ocurrencia de silbidos traslapados. Entonces, el cómo se distribuyen los silbidos en el tiempo probablemente sea un indicador de la composición por edades de los individuos de una manada.

Para ambos delfinarios estudiados fue posible obtener una base de datos de silbidos por delfín con la que se determinó, de manera manual y automatizada, el repertorio de silbidos de cada individuo y cómo es que este repertorio cambió ante las distintas situaciones que se presentaron. Con el método automatizado se obtuvo una clasificación de los silbidos más fina que fue capaz de agrupar los silbidos emitidos por el mismo individuo en una sola categoría.

El repertorio de silbidos y su uso fue muy diferente entre delfinarios y entre individuos. Se encontraron tipos de silbidos exclusivos de un delfín en particular, algunos tipos de silbidos exclusivos por delfinario y otros tipos que fueron compartidos por los delfines de los dos delfinarios, sin importar que nunca han estado en contacto acústico y que provenían de poblaciones de diferentes océanos. Esto hace suponer que estos tipos de silbidos son propios de la especie o que son de uso “universal”, por lo que se podría centrar la atención en estos tipos de silbidos cuando se busca identificar a la especie *T. truncatus* acústicamente.

Al analizar las variaciones de los silbidos de un mismo tipo, se presentaron variaciones de un día a otro pero, en términos generales, estas variaciones intraindividuales fueron mucho menores a las interindividuales. Además, los silbidos más ocurrentes en el repertorio de los delfines fueron estereotípicos y, en el caso de los delfines 1, 2 y 3, se determinó que estos silbidos pueden ser útiles en la discriminación individual.

El estudio de los silbidos estereotípicos en delfines *T. truncatus* de poblaciones silvestres se ha dificultado dada la imposibilidad de adjudicar los silbidos emitidos por un individuo particular. Los resultados de este estudio indican que acústicamente los delfines en cautiverio estudiados se comportaron como sus contrapartes silvestres; parece ser que los delfines no cambian su comportamiento acústico con silbidos al estar en cautiverio. De ahí la importancia de estudiar primero los silbidos estereotípicos de los delfines en cautiverio, en los que sí es posible la adjudicación y la obtención del repertorio individual, como se realizó en este estudio. Todo indica que sí es posible extrapolar el conocimiento adquirido con delfines en cautiverio a individuos silvestres.

Estas variaciones encontradas en la ocurrencia y repertorio de los silbidos dan pauta para considerar que los silbidos son empleados para la comunicación entre delfines, pudiendo inferir el intercambio de distinta información en situaciones diferentes o con individuos diferentes. En el capítulo IV de esta tesis se aborda este tema.

Capítulo IV. COMPORTAMIENTO DE *Tursiops truncatus* EN CAUTIVERIO

IV.1. Introducción

Se define como “comportamiento” a todas las acciones y reacciones de los organismos, el cual se mide al realizar observaciones y asignarles valores numéricos y/o categorías bajo reglas preestablecidas (Martin & Bateson, 2004). Estas categorías deben ser independientes entre sí y deben ser claramente distinguibles, sin ambigüedades.

Las categorías pueden conformarse por eventos (sucesos) y/o estados (Martin & Bateson, 2004). Los eventos son de duración relativamente corta que se pueden presentar como puntos en el tiempo. Por ello, los eventos se miden como su aparición por unidad de tiempo o tasa de ocurrencia. Los estados son de duración relativamente larga, por lo que se miden al considerar su duración (media o total), que en este caso se consideró como min/h. Así, los eventos y estados se encuentran en los extremos de un continuo.

En este capítulo se analizó el comportamiento de los delfines *Tursiops truncatus* en cautiverio al asociar el comportamiento acústico, es decir, la emisión de silbidos, con el comportamiento no acústico, es decir, con las actividades que realizaron los delfines. Se observó la individualidad en el comportamiento no acústico y se estableció si existen diferencias durante el muestreo y entre delfinarios.

IV.2 Metodología

Se estudiaron cinco delfines que fueron mantenidos en dos diferentes acuarios en la Ciudad de México que están aislados geográfica y acústicamente, como se describe en la sección I.6, y que fueron un macho (delfín 1) y una hembra (delfín 2) adultos en el delfinario 1: “Six Flags” y una hembra adulta (delfín 4) y dos juveniles, una hembra (delfín 3) y un macho (delfín 5), en el delfinario 2: “Atlantis”.

El registro del comportamiento no acústico de los delfines se realizó empleando las grabaciones de video realizadas en tiempo continuo empleando 2 videocámaras como se describe en la sección II.2.2.1: la videocámara VR1 para tener una toma panorámica y la videocámara VR2 para tener una toma cercana y poder identificar a cada delfín. Las

diferentes actividades realizadas por los delfines observadas en las videocintas se clasificaron en cinco estados: *reposo* (Fig. 4.1), *nado* (Fig. 4.2), *observación* (Fig. 4.3), interacción con objetos (*juego*) e interacción entre individuos, tomando como referencia el etograma reportado por Müller *et al.* (1998) de acuerdo a los comportamientos observados. El nado, además de los comportamientos mostrados en la Fig. 4.2, incluyó cualquier tipo de nado debajo de la superficie y el nado ventral en la superficie. La interacción con objetos incluyó la interacción de ambos delfines con cualquier objeto que se introdujera al estanque y la interacción entre individuos incluyó cualquier situación en la que los delfines entraban en contacto físico.

La mayoría de los estudios de comportamiento en delfines de poblaciones silvestres se refieren a los estados de comportamiento de viaje o tránsito, descanso, socialización o cortejo o juego y forrajeo o alimentación (Delgado Estrella, 2002; Thomsen *et al.*, 2002; Bazúa-Durán *et al.*, 2003, Bazúa-Durán & Au, 2004). Las categorías de estados de comportamiento en cautiverio utilizadas en este estudio fueron semejantes.

Se midió la duración de cada estado en el que se encontraba cada delfín y se aplicó una prueba de X^2 para determinar diferencias en el tiempo que cada delfín ocupó en cada estado. Además, se analizaron los datos del muestreo durante un ciclo de 24 horas considerando todas las horas de luz para determinar si el comportamiento de los delfines registrado en todos los muestreos de este estudio era representativo de lo que los delfines realizaban durante las horas en las que había luz solar. Cabe mencionar que durante el muestreo de 24 horas en cada delfinario no se utilizó iluminación artificial nocturna para no modificar el comportamiento de los delfines, por lo que las videograbaciones captaron imágenes bien definidas de las 7 a las 19 horas, aproximadamente.

También se realizaron curvas acumulativas de la proporción del tiempo que cada delfín pasó en cada estado de comportamiento no acústico de manera análoga a las curvas acumulativas de tipos de silbidos nuevos contra silbidos analizados realizadas en el capítulo III para verificar qué tan representativo era el repertorio de silbidos. En este caso las proporciones de tiempo que cada delfín pasó en cada estado de comportamiento no acústico incluían todo lo que el delfín ya había hecho hasta ese momento del muestreo. Entonces, estas curvas acumulativas de comportamiento indican en qué estado se observó a los delfines más frecuentemente y si el muestreo fue representativo de todos los estados de los delfines (Dias *et al.*, 2009).

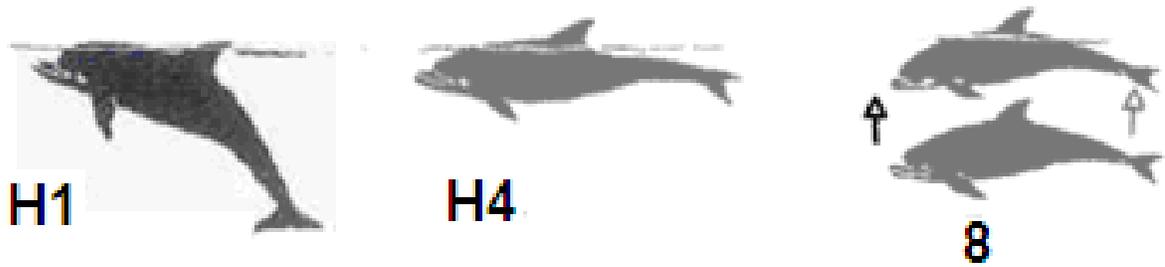


Figura 4.1. Comportamientos observados que definieron el estado de reposo y que incluyen todos aquellos comportamientos de baja energía: flotando en la superficie sacando el melón (H1), flotando en la superficie sacando la aleta dorsal (H4) y flotando en la superficie sacando la aleta dorsal y haciendo inmersiones ligeramente debajo de la superficie (8) (tomados de Müller *et al.*, 1998).

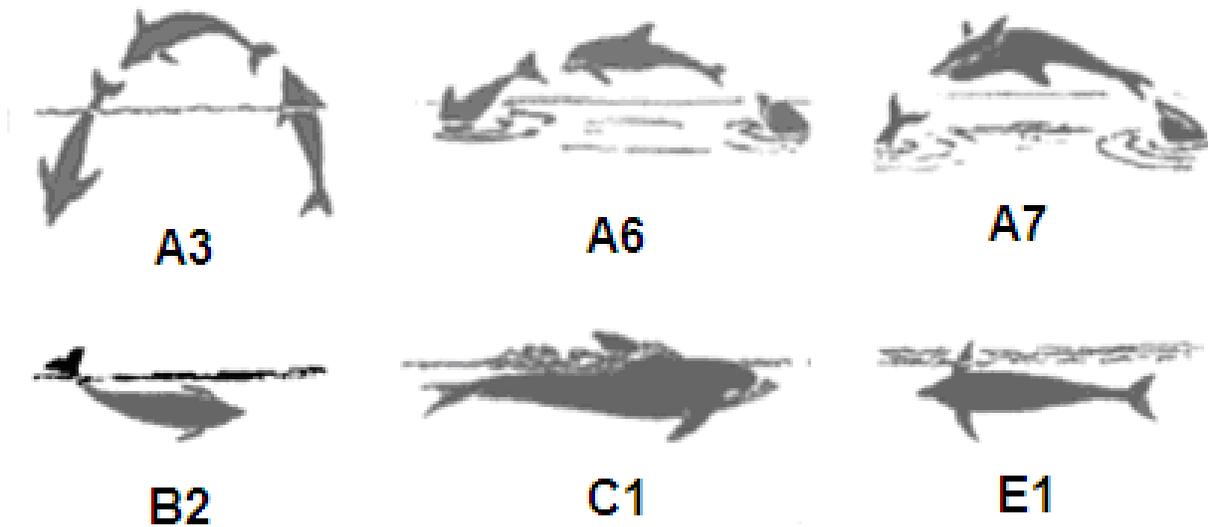


Figura 4.2. Comportamientos observados que definieron el estado de nado y que incluyen todos los saltos que hicieron mientras nadaban y todos los tipos de nado: salto arqueado (A3), salto (A6), salto invertido (A7) y nado lateral exponiendo la aleta caudal (B2), la aleta dorsal (C1) o una aleta pectoral (E1) (tomados de Müller *et al.*, 1998).



Figura 4.3. Comportamientos observados que definieron el estado de observación: sacar la cabeza de manera inclinada (A2), sacar la cabeza de manera vertical (D10), girando la cabeza para asomar un sólo ojo (D4) y flotando en la superficie sacando la cabeza (H5) (tomados de Müller *et al.*, 1998).

Como se describe en la sección II.2.1.4, cuando los delfines nadaban libremente se realizaron las grabaciones acústicas de manera digital utilizando un sistema de dos canales de audio. Los silbidos grabados se consideraron como eventos, por lo que se midió su tasa de ocurrencia en el tiempo (Martin & Bateson, 2004). Como cada estado de comportamiento no acústico representó el contexto en el que se emitieron los silbidos descritos en los capítulos II y III, entonces, se definió qué tipos de silbidos fueron emitidos en cada estado por cada delfín a una cierta tasa de ocurrencia. En el caso de los silbidos no adjudicados, se consideraron sólo aquellos silbidos emitidos cuando ambos delfines se encontraban en el mismo estado, asegurando que el silbido era propio de ese estado aún sin saber la identidad del emisor. Los silbidos se analizaron al utilizar las clasificaciones manual y automatizada descritas en la sección III.2.3.1 y se aplicó una prueba de X^2 para determinar si los tipos de silbidos se utilizaban de manera diferente en cada estado.

IV.3. Resultados

IV.3.1. Comportamiento no acústico Delfinario 1: “Six Flags”

En el delfinario 1: “Six Flags” se consideraron únicamente 2290 min de los 4799 min muestreados (Tabla 3.3) porque se eliminaron las instancias cuando los delfines se salían del campo visual de las videocámaras y cuando los delfines fueron alimentados, entrenados o sujetos a algún otro manejo no contemplado como los estados de comportamiento descritos en la metodología.

Una gran parte del tiempo los delfines se mantuvieron en reposo (R), ya sea con el cuerpo curvo o ligeramente estirado (H1 y H4, Fig. 4.1) o variando su flotabilidad (8, Fig. 4.1). Fue frecuente observar resoplidos cuando se encontraban en reposo (F4, Fig. 4.4). La observación de emisión de burbujas no resultó factible (F3, Fig. 4.4), ya que sólo se logró observar posterior a un resoplido y, probablemente, no siempre que lo hicieron.

Los patrones de nado (N) observados más frecuentemente fueron describiendo círculos, ya fuera en la periferia del estanque o en una mitad del mismo y nadando indistintamente a media agua o superficialmente, exponiendo la aleta dorsal (C1, Fig. 4.2), y cuando algo les llamaba la atención, nadaban con el rostro fuera del agua (comportamiento no descrito por Müller *et al.*, 1998). Generalmente, el nado era ventral, aunque el delfín 1 también lo hacía dorsalmente. El nado lateral fue menos frecuente, pero lo hicieron exponiendo una aleta pectoral (E1, Fig. 4.2) y la aleta caudal (B2, Fig. 4.2) en momentos de interacción con objetos o “juego”.

En el caso del comportamiento de observación (O), éste lo realizaron sacando la cabeza (A2, Fig. 4.3), sacando el tórax hasta las aletas pectorales (D10, Fig. 4.3), simplemente girando la cabeza para asomar un ojo (D4, Fig. 4.3) o asomándose muy esporádicamente (H5, Fig. 4.3).

La interacción con objetos incluyó comportamientos registrados que fueron clasificados como “juego” (J) e incluyeron cuando interactuaban con una cámara de bicicleta, cuando jugaban con objetos que caían al agua y flotaban, como hojas de los árboles e insectos, y cuando se realizaba el lavado del estanque empleando una manguera de la aspiradora

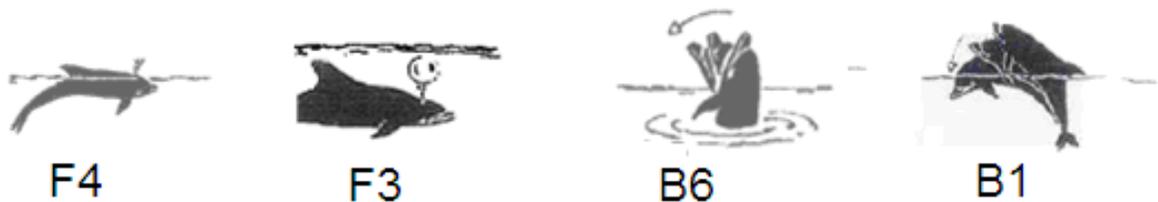


Figura 4.4. Comportamientos observados en el delfinario 1: “Six Flags” que fueron eventos: resoplidos (F4), emisión de burbujas (F3), movimiento dorso-ventral de la cabeza con el tórax fuera del agua hasta las aletas pectorales (B6), sacar la mitad anterior del cuerpo para luego sumergirla (B1) (tomados de Müller *et al.*, 1998).

con la que ambos delfines “jugaban”, frotándose con la misma o jalándola con la aleta dorsal, porque ésta flotaba en la superficie.

La interacción entre individuos se presentó en cuatro días de muestreo cuando se observó lo que se describió como “conducta parasexual” (P) (Fig. 4.5). Esta conducta consistió en el nado acompañado con contacto físico de intensidad progresiva, desde leves toques hasta saltos uno sobre el otro, después de lo cual ambos animales se sumergieron elevando el pedúnculo caudal. Esta conducta se observó el 30 de octubre de 2006 a las 13:52 horas por 5 min, el 5 de marzo de 2007 a las 12:12 horas por 1 min, el 27 de marzo de 2007 a las 12:35 por 1 min y a las 12:37 por 7 min y el 13 de septiembre de 2007 a las 9:36 por 1 min, acumulando un total de 15 min durante todo el muestreo.

Otros comportamientos observados que no se consideraron como estados, ya que fueron eventos, los realizaron cuando querían llamar la atención de sus entrenadores y fueron el movimiento dorso-ventral de la cabeza con el tórax fuera del agua hasta las aletas pectorales (B6, Fig. 4.4) o bien sacar la mitad anterior del cuerpo para luego sumergirla (B1, Fig. 4.4), provocando un fuerte chapuzón.

En el delfinario 1: “Six Flags” se observó que el delfín 1 (D1) fue más activo, registrando una mayor gama de actividades al recorrer la periferia del estanque principal, observando y saltando esporádicamente. Los días de entrenamiento realizó más ejercicios y los días de reposo saltó espontáneamente, brincando de frente (ventral), de lado y de dorso (A6, A3 y A7, Fig. 4.2). El delfín 2 (D2) pasó la mayor parte del tiempo estático y pocas veces se le observó saltar de frente (A6, Fig. 4.2).

Durante el muestreo del 13 al 14 de septiembre de 2007 que duró 24 horas, ambos delfines se encontraban en reposo al amanecer (Fig. 4.6). Alrededor de las 7 horas, el D1 permaneció en reposo por 37 min/h y el D2 por 45 min/h. Después de las 8 horas y hasta el anochecer, el D1 casi no reposó, estando en este estado menos de 10 min/h. A diferencia, el D2 durante el día se pasó hasta 57 min/h en reposo. Durante toda la noche ambos delfines permanecieron en reposo. Los valores del resto del muestreo concuerdan con la tendencia encontrada durante el ciclo de 24 horas; el D1 casi no reposó y el D2 reposó hasta 60 min/h, aunque también realizó otras actividades (Fig. 4.6).

Durante el ciclo de 24 horas el D1 pasó la mayor parte del tiempo nadando (Fig. 4.6); a las 7 horas nadó 20 min/h y a las 9 horas ya estaba más activo, con 50 min/h de nado,



Figura 4.5. Comportamientos observados en secuencia que definieron el estado de interacción entre individuos y que se describió como “conducta parasexual”.

alcanzando el máximo de 60 min/h alrededor de las 13 horas. Después de este pico, la actividad del D1 decreció paulatinamente hasta las 16 horas, nadando sólo 10 min/h. Cerca de las 17 horas nadó 15 min/h y, al anochecer, cerca de las 19 horas, su nado se redujo a casi cero. Los valores del resto del muestreo concuerdan con la tendencia encontrada durante el ciclo de 24 horas; la mayoría de los días se registraron valores entre 50 y 60 min/h de nado entre las 10 y las 13 horas para el D1 (Fig. 4.6). En contraste, el D2

pasó menos de 20 min/h nadando tanto en el ciclo de 24 horas como durante el resto del muestreo; sólo en 4 ocasiones rebasó los 30 min/h de nado (Fig. 4.6).

Durante el ciclo de 24 horas el D1 alcanzó su máximo matutino en el estado de observación a las 8 horas (5 min/h) y para el D2 a las 9 horas (19 min/h) (Fig. 4.6). Por la tarde, para ambos delfines se incrementó el tiempo en observación a partir de las 13 horas hasta alcanzar valores de más de 50 min/h hacia las 16 horas, manteniéndose los delfines principalmente en observación hasta el anochecer. Los valores del resto del muestreo fueron muy variables, ya que la mayoría del tiempo los delfines estuvieron por debajo de los 20 min/h en observación, teniendo que en la mayoría de los casos el D2 observó más que el D1 (con excepción de cuatro días en los que estuvieron en el estanque de cuarentena) (Fig. 4.6).

Durante el ciclo de 24 horas el D1 jugó de 9 a 11 horas, mientras que durante el resto del muestreo jugó menos de 5 min/h (Fig. 4.6). El D2 no jugó durante el ciclo de 24 horas y durante el resto del muestreo sólo jugó en seis días; en tres días jugó 1 min/h, en uno 3 min/h, en otro 5 min/h y en el último 14 min/h (Fig. 4.6).

Al comparar el tiempo dedicado a cada estado por cada delfín durante el ciclo de 24 horas con el resto del muestreo se encontraron diferencias para ambos delfines del delfinario 1: "Six Flags" (Tabla 4.1). El tiempo que el delfín 1 del delfinario 1: "Six Flags" pasó en reposo y el delfín 2 en observación durante ciclo de 24 horas y durante el resto del muestreo fueron diferentes, mientras que los tiempos en los demás estados fueron semejantes (Tabla 4.1).

Tabla 4.1. Tiempo (min) y su respectivo porcentaje que los delfines del delfinario 1: "Six Flags" le dedicaron a cada estado de comportamiento durante el ciclo de 24 horas y durante el resto del muestreo, así como los resultados de la prueba χ^2 de la comparación de estos dos muestreos (* significativos a $P < 0.001$, $\chi^2_5 = 20.51$)
R: reposo, N: nado, O: observación, J: juego y P: conducta parasexual.

Estado	Delfin 1					Delfin 2				
	24 h	%	resto	%	χ^2	24 h	%	resto	%	χ^2
R	28.80	4.0	30.66	2.0	12.28	0.00	0.0	17.33	1.1	18.69
N	360.00	50.0	931.29	59.3	7.58	100.80	14.0	356.41	22.7	21.61
O	259.20	36.0	502.46	32.0	2.38	288.00	40.0	860.93	54.8	113.36
J	72.00	10.0	90.96	5.8	7.97	331.20	46.0	320.91	20.4	7.94
P	0.00	0.0	15.00	1.0	6.88	0.00	0.0	15.00	1.0	6.88
TOTAL	720.00	100.0	1570.37	100.0	37.09 *	720.00	100.0	1570.58	100.0	168.48 *

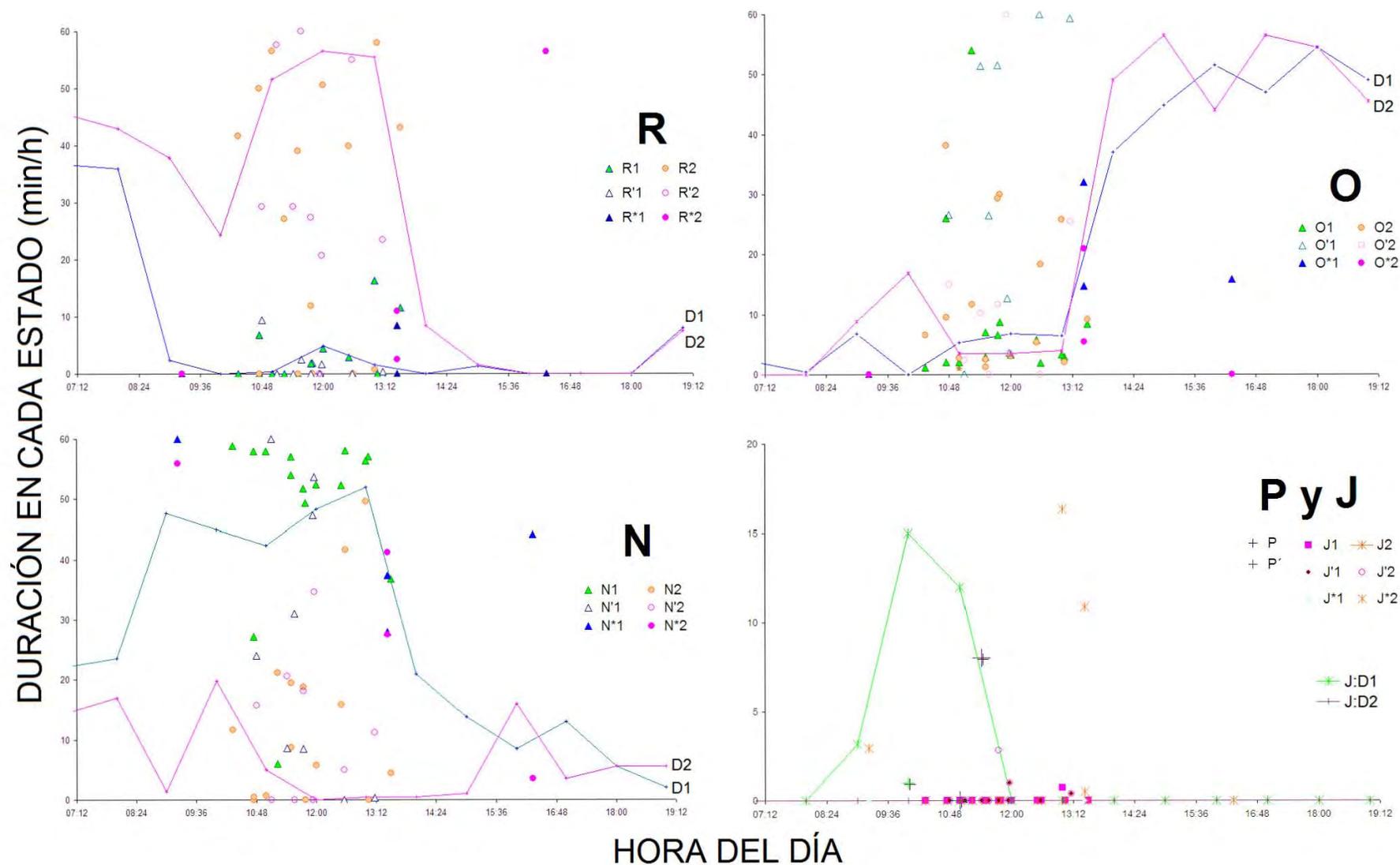


Figura 4.6. Tiempo que cada delfín del delfinario 1: “Six Flags” estuvo en cada uno de los diferentes estados de comportamiento no acústico para los distintos estanques: “sin marca” = estanque oval 1, ´ = estanque rectangular, * = estanque oval 2. R: reposo, N: nado, O: observación, J: juego, P: conducta parasexual, D1 = 1 = delfín 1, D2 = 2 = delfín 2. La línea continua indica el ciclo de 24 horas y los datos puntuales el resto del muestreo.

La curva acumulativa de la proporción que cada delfín dedicó a cada estado de comportamiento no acústico indicó que el muestreo realizado en el delfinario 1: “Six Flags” fue representativo de las actividades realizadas por los delfines 1 y 2, ya que las curvas para ambos delfines fueron asintóticas para todos los estados a partir del minuto de muestreo 1000 (Fig. 4.7). Además, se observó una relación inversa del estado en el que se encontraban los delfines 1 y 2, es decir, mientras uno nadaba el otro reposaba. El delfín 1 nadó el $64 \pm 0.4\%$ del tiempo, mientras que el delfín 2 reposó el $50 \pm 0.4\%$ del tiempo (Tabla 4.1). Ambos delfines observaron entre el 20 y el 30% del tiempo.

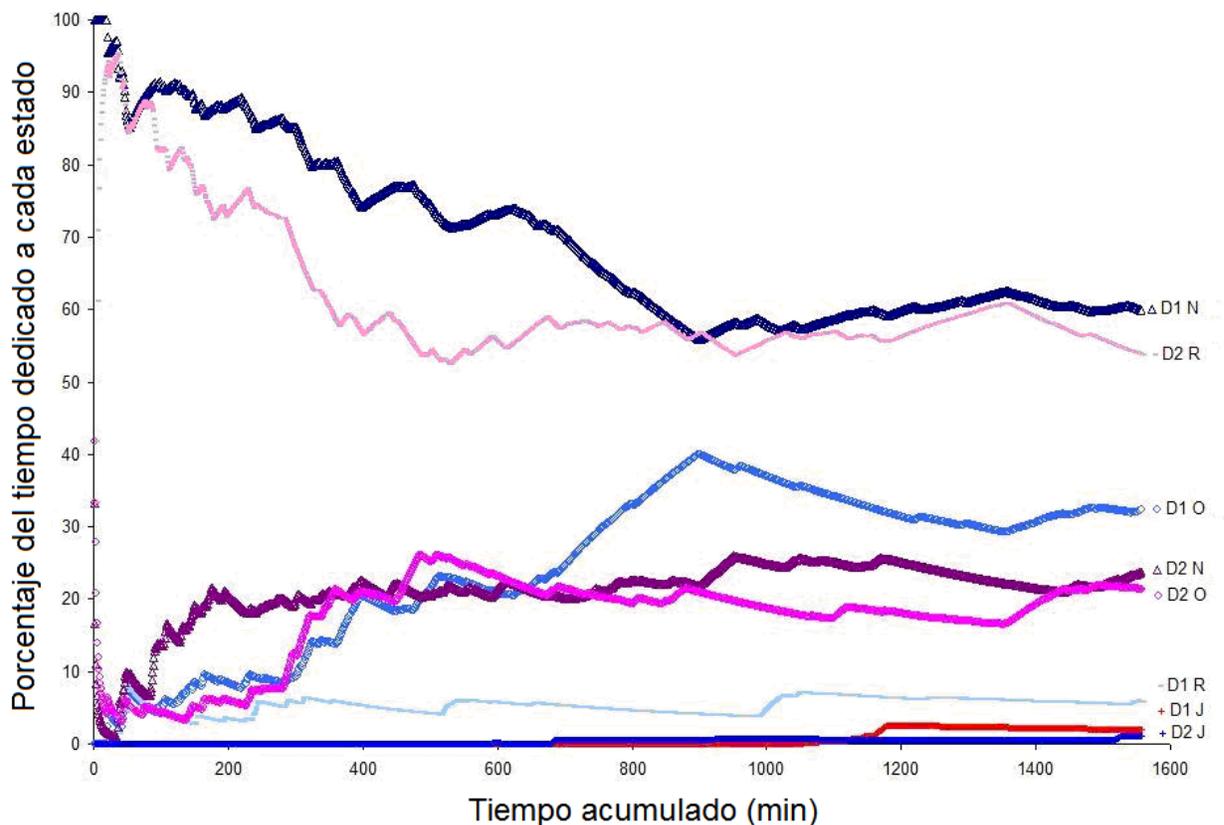


Figura 4.7. Curvas acumulativas de la proporción del tiempo que cada delfín le dedicó a cada estado de comportamiento no acústico en el delfinario 1: “Six Flags”. R: reposo, N: nado, O: observación y J: juego, D1 = delfín 1, D2 = delfín 2.

IV.3.2. Comportamiento no acústico Delfinario 2: “Atlantis”

En el delfinario 2: “Atlantis” se consideraron únicamente 2079 min de los 3432 min muestreados (Tabla 3.28) porque se eliminaron las instancias cuando los delfines se

salían del campo visual de las videocámaras y cuando los delfines fueron alimentados o sujetos a algún otro manejo no contemplado como los estados de comportamiento descritos en la metodología.

La conducta observada en los tres delfines del delfinario 2: “Atlantis” fue diferente a la de los animales del delfinario 1: “Six Flags” en varios aspectos (Fig. 4.8), pero sobre todo en que no se observó contacto físico, los delfines nadaban casi continuamente y hubo una mayor ocurrencia de saltos de frente (A6, Fig. 4.2). Todos los delfines del delfinario 2: “Atlantis” fueron muy activos, recorriendo todo el estanque, nadando, observando y saltando.

Para los delfines del delfinario 2: “Atlantis” también se observaron comportamientos que no se consideraron como estados, ya que fueron eventos, tales como resoplidos (F4, Fig. 4.4), emisión de burbujas (F3, Fig. 4.4), movimiento dorso-ventral de la cabeza con el tórax fuera del agua hasta las aletas pectorales (B6, Fig. 4.4) o bien sacar la mitad anterior del cuerpo para luego sumergirla (B1, Fig. 4.4), provocando un fuerte chapuzón (estos dos últimos comportamientos también realizados cuando querían llamar la atención de sus entrenadores).

La interacción con objetos incluyó comportamientos registrados que también fueron clasificados como “juego” (J) e incluyeron cuando interactuaban con pelotas y aros y cuando jugaban con objetos que caían al agua y flotaban, como hojas de los árboles e insectos. Cuando se realizaba el lavado del estanque empleando una manguera de la aspiradora, ésta se iba al fondo del estanque, por lo que los delfines se frotaban muy esporádicamente con la misma y este comportamiento, entonces, se consideró como un evento.

Durante el muestreo del 01 al 02 de octubre de 2007 que duró 24 horas, los delfines 3 y 4 dedicaron muy poco tiempo al reposo (flotando estáticas por 0 min/h la mayor parte del día) (Fig. 4.8). Sólo a las 10 horas el D3 reposó 27 min/h y a las 18 horas el D3 reposó 17 min/h y el D4 8 min/h. Los valores del resto del muestreo concuerdan con la tendencia encontrada durante el ciclo de 24 horas; los D3 y D4 casi no reposaron (Fig. 4.8).

Durante el ciclo de 24 horas los D3 y D4 pasaron la mayor parte del tiempo nadando (Fig. 4.8), frecuentemente uno al lado del otro o uno debajo del otro, aunque en ocasiones nadaron por separado. Desde el amanecer que se comenzó el muestreo se encontraban

en movimiento, nadando más de 50 min/h. Cerca de las 10 horas ambos delfines redujeron su nado a 42 min/h el D3 y a 21 min/h el D4. A partir de las 11 horas y hasta el anochecer permanecieron nadando más de 50 min/h el D4 y más de 40 min/h el D3. Durante el resto del muestro se observó esta tendencia, con la excepción de un solo día en el que el D4 registró menos de 20 min/h de nado (Fig. 4.8).

Durante el ciclo de 24 horas los delfines permanecieron estáticos muy poco tiempo (Fig. 4.8), por lo que la forma más frecuente de observar fue nadando en círculos pequeños y saltando para asomarse (a diferencia de lo que hacían los delfines del delfinario 1: “Six Flags”, donde la forma de observación más frecuente era permaneciendo estáticos, emergiendo periódicamente la cabeza hasta las aletas pectorales). Durante el ciclo de 24 horas los delfines observaron menos de 10 min/h. Sólo a las 10 horas se incrementó a 15 min/h para el D3 y a 8 min/h para el D4. Esta tendencia se mantuvo durante el resto del muestreo (Fig. 4.8).

El tiempo que dedicaron al juego durante el ciclo de 24 horas fue apenas de 2 a 3 min/h (Fig. 4.8). El D3 jugó entre las 12 a 15 horas por 3 min/h y el D4 sólo jugó 2 min/h a las 14 horas. Durante el resto del muestreo el D3 jugó en 6 días entre las 12 y las 14 horas, mientras que el D4 jugó sólo un día (Fig. 4.8).

Al comparar el tiempo dedicado a cada estado por cada delfín durante el ciclo de 24 horas con el resto del muestreo se encontraron diferencias únicamente para el delfín 4 del delfinario 2: “Atlantis” (Tabla 4.2). El delfín 3 tuvo el mismo patrón de conducta durante el ciclo de 24 horas y durante el resto del muestreo y el delfín 4 casi no reposó y observó más durante el resto del muestreo (Tabla 4.2).

La curva acumulativa de la proporción que cada delfín dedicó a cada estado de comportamiento no acústico indicó que el muestreo realizado en el delfinario 2: “Atlantis” también fue representativo de las actividades realizadas por los delfines 3 y 4, ya que las curvas para ambos delfines fueron asintóticas para todos los estados a partir del minuto de muestreo 600 (Fig. 4.9). Además, se observó una relación directa del estado en el que se encontraban los delfines 3 y 4, es decir, los delfines generalmente se encontraban en el mismo estado. Los delfines 3 y 4 nadaron el 82 ± 0.3 y el $92\pm 0.3\%$ del tiempo, respectivamente, observaron entre el 10 y el 20% y casi no reposaron ni jugaron (Tabla 4.2).

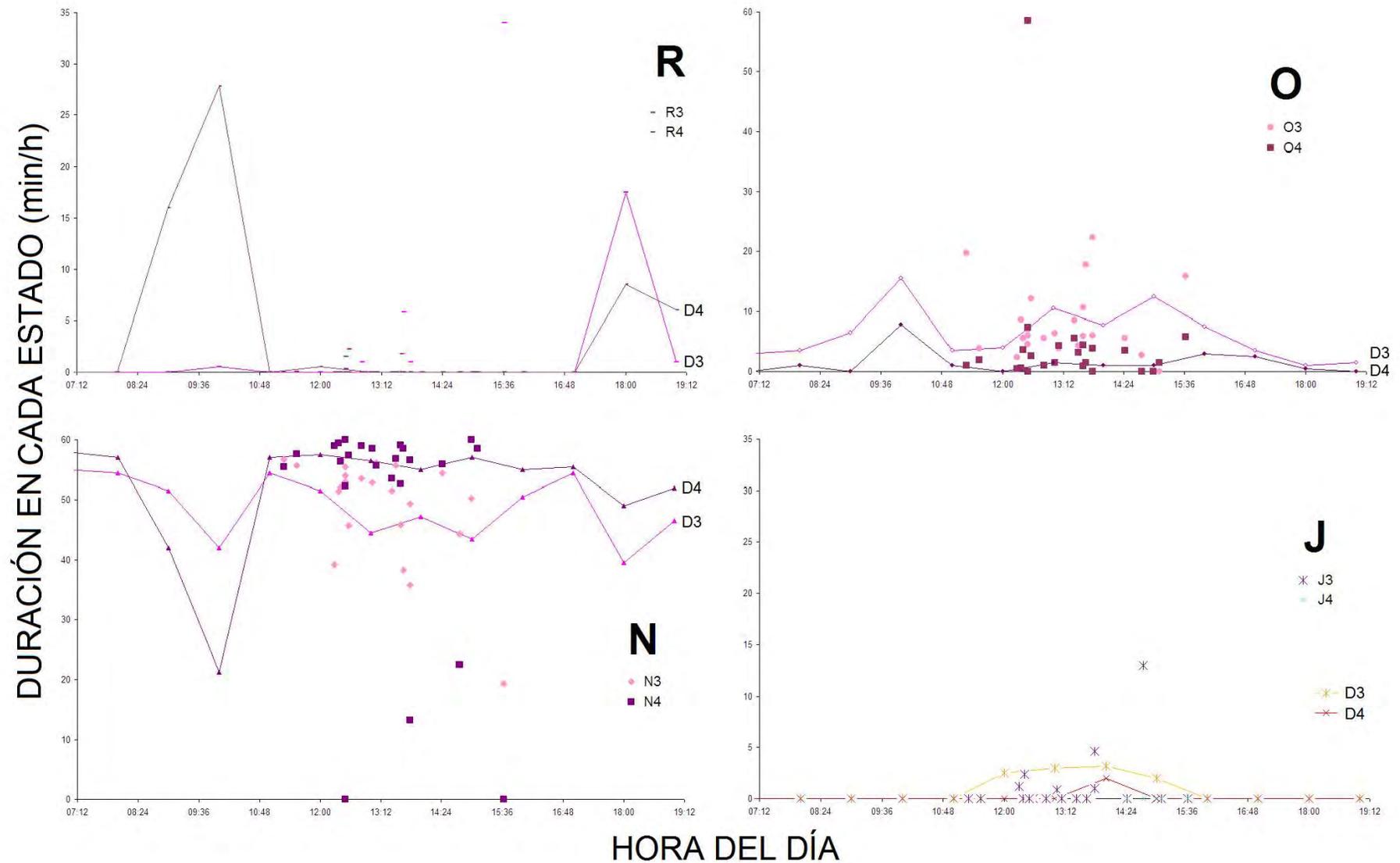


Figura 4.8. Tiempo que los delfines 3 y 4 del delphinario 2: “Atlantis” estuvieron en cada uno de los diferentes estados de comportamiento no acústico. R: reposo, N: nado, O: observación, J: juego, D3=3=delfín 3, D4=4=delfín 4. La línea continua indica el ciclo de 24 horas y los datos puntuales el resto del muestreo (no se incluyen datos cuando el delfín 3 estuvo solo o acompañado del delfín 5 porque no se realizó un ciclo de 24 horas para éstos).

Tabla 4.2. Tiempo (min) y su respectivo porcentaje que los delfines del delfinario 2: “Atlantis” le dedicaron a cada estado de comportamiento durante el ciclo de 24 horas y durante el resto del muestreo, así como los resultados de la prueba χ^2 de la comparación de estos dos muestreos (* significativos a $P < 0.001$, $\chi^2_4 = 18.46$). R: reposo, N: nado, O: observación y J: juego.

Estado	Delfin 3					Delfin 4				
	24 h	%	resto	%	χ^2	24 h	%	resto	%	χ^2
R	21.60	3.0	36.97	2.7	0.13	57.60	8.0	1.83	0.1	101.89
N	612.00	85.0	1117.45	82.2	0.44	640.80	89.0	1240.83	91.3	0.27
O	79.20	11.0	170.95	12.6	0.97	21.60	3.0	116.33	8.6	21.91
J	7.20	1.0	33.98	2.5	5.35	0.00	0.0	0.50	0.0	0.26
TOTAL	720.00	100.0	1359.35	100.0	6.89	720.00	100.0	1359.49	100.0	124.33 *

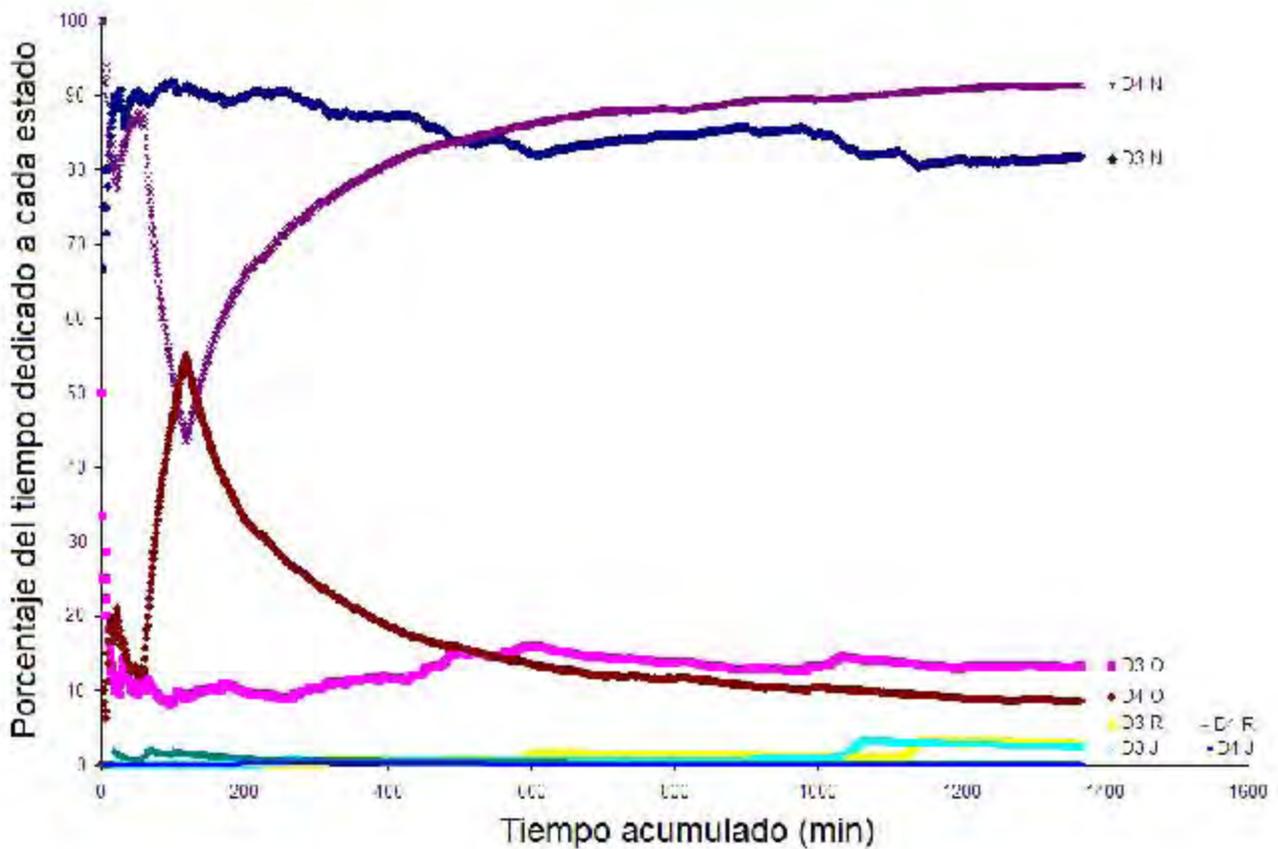


Figura 4.9. Curvas acumulativas de la proporción del tiempo que cada delfín le dedicó a cada estado de comportamiento no acústico en el delfinario 2: “Atlantis”. R: reposo, N: nado, O: observación y J: juego, D3 = delfin 3, D4 = delfin 4.

IV.3.3. Comparación del comportamiento no acústico Delfinario 1: "Six Flags" vs. Delfinario 2: "Atlantis"

Se encontró una individualidad en la proporción que cada delfín dedicó a cada estado de comportamiento no acústico, por lo que cada delfín se comportó de manera distinta durante el muestreo realizado (Tabla 4.3).

Tabla 4.3. Resultados de la prueba de χ^2 de la comparación del tiempo en minutos que cada delfín le dedicó a cada estado de comportamiento (* significativos a $P < 0.001$, $\chi^2_5 = 20.51$).

	Delfín 2	Delfín 3	Delfín 4
Delfín 1	482.99*	203.93*	401.77*
Delfín 2		1090*	1395*
Delfín 3			81.17*

IV.3.4. Silbidos relacionados con el comportamiento no acústico Delfinario 1: "Six Flags"

En el delfinario 1: "Six Flags" el horario en el que se registraron los silbidos coincidió, para la mayoría de los muestreos, cuando se aproximaba la hora de ser alimentados. Durante este tiempo anterior a la hora de ser alimentados, ambos delfines se encontraron en el estado de observación. Los silbidos ocurrían generalmente 30 minutos antes del horario de suministro de la dieta y el tiempo durante el cual silbaban fue mayor cuanto más se retrasaba la alimentación. Después de la ingesta, la emisión de silbidos se redujo considerablemente y aumentaba nuevamente hasta que se acercaba el siguiente horario de comida. También se registraron silbidos mientras los delfines nadaban, jugaban y durante la conducta parasexual, más nunca en el estado de reposo. Esto se hizo evidente cuando se realizó el ciclo de 24 horas, donde durante la noche no se registró ningún silbido (Fig. 3.3) y los delfines se observaron siempre en reposo después de las 17 horas y antes de las 8 horas del siguiente día que se reanudó la actividad de los delfines.

IV.4.2.1. Silbidos relacionados con el comportamiento considerando la clasificación manual

Al considerar la clasificación manual o subjetiva se logró definir en qué estado fue emitido cada silbido para 1059 de los 1365 silbidos descritos en el capítulo III (77.6% de los silbidos), que comprenden 49 de los 60 tipos encontrados con la clasificación manual (Tabla 4.4). Como se mencionó en el método, no se pudieron incluir todos los silbidos porque cuando éstos no pudieron ser adjudicados, ambos delfines debían estar en el mismo estado de comportamiento para considerar a los silbidos como emitidos en cierto estado de comportamiento. Además, se eliminaron todos aquellos silbidos que no pudieron ser analizados con la clasificación automatizada en el capítulo III para que las dos bases de datos fueran idénticas. Durante el estado de reposo no se registraron silbidos, lo que indica que el uso de los diferentes tipos de silbidos de acuerdo al estado de comportamiento no fue indistinto.

Considerando los silbidos agrupados en categorías fijas (i.e., ascendente, descendente, constante, cóncavo, convexo y múltiple) y dividiendo los silbidos múltiples en Cxc, Cxc**, P y el resto de los múltiples (Tabla 3.1), se encontraron cambios evidentes en el número de silbidos de cada tipo usados en los diferentes estados de comportamiento (Fig. 4.10). Durante el estado de observación el 86% de los silbidos registrados fueron del tipo Cxc, durante los estados de nado y juego alrededor del 50% de los silbidos emitidos fueron de contorno ascendente y constante y durante la conducta parasexual se emitieron principalmente silbidos de contorno convexo y múltiple.

Los tipos de silbidos emitidos en un sólo estado fueron 19 de los 60 obtenidos con la clasificación manual (31.7% de los tipos de silbidos) e incluyeron únicamente 45 de los 1059 silbidos analizados (4.2% de los silbidos analizados) (Tabla 4.5). Sólo se emitieron durante nado un tipo de silbido ascendente (i.e., Asp, 6 silbidos para el D1 y 1 que no fue adjudicado), cuatro tipos de silbidos constantes (i.e., Casl y Cdec para el D1, Cb para el D2 y Ccorto que no fue adjudicado), un tipo de silbido convexo (i.e., Cxl para el D1), un tipo de silbido Cxc (i.e., Cxcb, para el D1) y tres tipos de silbidos múltiples (i.e., Cv2rAs y Cxdasx para el D1 y P para ambos delfines). Sólo se emitieron durante observación un tipo de silbido Cxc (i.e., Cxcir que no fue adjudicado) y tres tipos de silbidos múltiples (i.e., AsCvas y Asxccx para el D1 y Cx3r para ambos delfines). Sólo se emitieron durante juego un tipo de silbido cóncavo (i.e., Cvb para el D2) y dos tipos de silbidos múltiples (i.e., CvDe

CAPÍTULO IV

RESULTADOS: RELACIÓN SILBIDOS VS. COMPORTAMIENTO

Tabla 4.4. Número de silbidos emitidos por los delfines 1 (D1) y 2 (D2) del delfinario 1: "Six Flags" en cada estado de comportamiento, así como el número de silbidos no adjudicados emitidos cuando ambos delfines se encontraban en el mismo estado de comportamiento considerando cada tipo de silbido de la clasificación manual. N: nado, O: observación y J: juego. En el estado de reposo no se registró ningún silbido.

	Tipo de silbido	D1 N	D2 N	NA N	N	D1 O	D2 O	NA O	O	D1 J	D2 J	NA J	J	D1 P	D2 P	NA P	P	TOTAL
1	As	7	3		10	3	2		5	10		18	28				0	43
2	Asc				0				0				0				0	0
3	AsCAsir				0				0			1	1				0	1
4	AsCvas				0	1			1				0				0	1
5	AsDe	1	1	2	4		2		2	1	1	2	4				0	10
6	Asir	1	1		2	1			1	2			2				0	5
7	Asp	6		1	7				0				0				0	7
8	Asr	6	3	1	10				0			3	3				0	13
9	Asv	2		4	6	1			1				0				0	7
10	Asx			2	2		1		1	2		4	6				0	9
11	Asxccx				0	1			1				0				0	1
12	C	26		3	29	8	7		15	3	8	9	20				0	64
13	Cas	2			2	1			1				0				0	3
14	Casl	2			2				0				0				0	2
15	Cb			1	1				0				0				0	1
16	Cde				0				0				0				0	0
17	Cdec	3			3				0				0				0	3
18	Cir	2			2				0		1	1	2				0	4
19	Cl	2		1	3			1	1		1		1				0	5
20	Cp		2		2				0				0				0	2
21	Cv				0	1			1	2			2				0	3
22	Cv2r		2		2				0		1		1				0	3
23	Cv2rAs	2			2				0				0				0	2
24	Cvb				0				0		1		1				0	1
25	Cvccvde				0				0				0				0	0
26	Cvcx				0				0		1	1	2	2			2	4
27	CvDe				0				0		2		2				0	2
28	Cvde				0				0				0				0	0
29	Cvir				0				0				0	1			1	1
30	Cx	2		2	4	3	4	1	8		1	1	2	1		1	2	16
31	Cx2r	4			4				0		1		1	2			2	7
32	Cx2ras				0				0		4		4	1			1	5
33	Cx2rasx	2			2	2			2				0				0	4
34	Cx3r				0	1	1		2				0				0	2
35	Cxas				0	2	2	1	5		2		2	1			1	8
36	Cxasir				0				0				0				0	0
37	Cxb		1		1		1	2	3				0	2			2	6
38	Cxc	24	10	38	72	45	506	52	603		4	1	5				0	680
39	Cxcb	4			4				0				0				0	4
40	Cxccorto				0	1	10	4	15		1	10	11				0	26
41	Cxccx				0				0				0				0	0
42	Cxcdes				0	1			1		1		1				0	2
43	Cxce	6			6	6		1	7		1		1			2	2	16
44	Cxceas				0				0				0				0	0
45	Cxcecx				0				0				0				0	0
46	Cxcir				0			2	2				0				0	2
47	Cxcv	2			2	4	1	2	7	3		2	5				0	14
48	Cxdasx	2			2				0				0				0	2
49	Cxde	1			1			1	1				0			2	2	4
50	Cxdecir				0				0				0				0	0
51	Cxdscx				0			1	1			1	1				0	2
52	Cxir	14	3	1	18	2		1	3	1		1	2				0	23
53	Cxl	2			2				0				0				0	2
54	De	4		2	6	6	1		7	6	1		7			3	3	23
55	Dec				0		1		1			1	1				0	2
56	Deciras				0				0				0				0	0
57	Deirte	1			1	1			1	1			1				0	3
58	Del				0				0				0				0	0
59	Dep				0				0				0			1	1	1
60	P	6	2		8				0				0				0	8
	TOTAL	136	28	58	222	91	539	69	699	31	32	56	119	10	0	9	19	1059

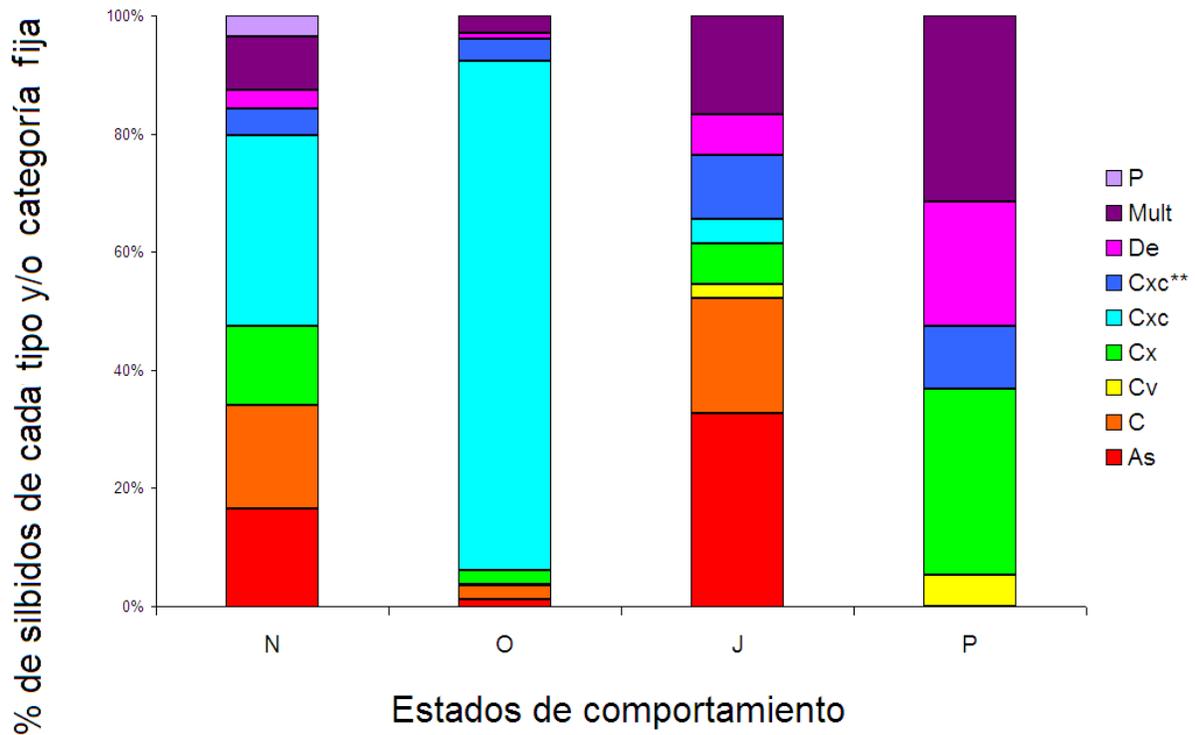


Figura 4.10. Porcentaje de silbidos de cada tipo, considerando la clasificación manual, usados durante los diferentes estados de comportamiento en el delfinario 1: "Six flags". N: nado, O: observación, J: juego y P: conducta parasexual. En el estado de reposo no se registró ningún silbido.

para el D2 y AsCAsir que no fue adjudicado). Sólo se emitió durante la conducta parasexual un tipo de silbido cóncavo (i.e., Cvir para el D1) y un tipo de silbido descendente (i.e., Dep que no fue adjudicado).

Con respecto a los silbidos que se registraron durante varios estados, los silbidos de contorno constante (tipos C, Cl, Cir y Cas) y los silbidos de contorno ascendente (tipos As, Asr, Asv, Asir y Asx) se registraron durante el nado, observación y juego (Tabla 4.6). Los silbidos de contorno convexo (tipos Cxir, Cx, AsDe, Cxb y Cxde), de contorno múltiple (tipos Cxcv, Cxas, Cx2r, Cx2ras, Cvcx, Cx2rasx, Cv2r, Cxdecx, Dec) y contorno descendente (tipos De y Deir) que se registraron durante varios estados se presentaron durante el nado, observación, juego y conducta parasexual. Los silbidos de contorno cóncavo fueron los menos ocurrentes y cuando se registraron durante varios estados se presentaron durante observación y juego (el tipo Cv). Cabe resaltar que tres tipos de silbidos obtenidos con la clasificación manual con 55 silbidos se registraron en cuatro estados de comportamiento (Tabla 4.6).

CAPÍTULO IV

RESULTADOS: RELACIÓN SILBIDOS VS. COMPORTAMIENTO

Tabla 4.5. 19 tipos de silbidos considerando la clasificación manual emitidos en un solo estado de comportamiento en el delfinario 1: "Six Flags", mostrando el número de silbidos de cada tipo. R: reposo, N: nado, O: observación, J: juego y P: conducta parasexual (N=45 silbidos).

	R	N	#	O	#	J	#	P	#
		Asp	7	Cxcir	2	Cvb	1	Cvir	1
		Casl	2	Cx3r	2	CvDe	2	Dep	1
		Ccorto	1	AsCvas	1	AsCASir	1		
		Cdec	3	Asxccx	1				
		Cb	2						
		Cxl	2						
		Cxcb	4						
		Cv2rAs	2						
		Cxdasx	2						
		P	8						
Número de tipos de silbidos	0	10		4		3		2	
Número de silbidos	0	33		6		4		2	

Tabla 4.6. 30 tipos de silbidos considerando la clasificación manual emitidos en más de un estado de comportamiento en el delfinario 1: "Six Flags". N: nado, O: observación, J: juego y P: conducta parasexual (N=1014 silbidos).

	NO	#	NJ	#	OJ	#	JP	#	R
	Asv	7	Asr	13	Cv	3	Cvcx	4	
	Cas	3	Cir	4	Cxccorto	26	Cx2ras	5	
	Cx2rasx	4	Cv2r	3	Cxcde	2			
					Cxdecx	2			
					Dec	2			
Número de tipos de silbidos	3		3		5		2		0
Número de silbidos	14		20		35		9		0

	NOJ	#	NOP	#	NJP	#	OJP	#	NOJP	#
	As	43	Cxb	6	Cx2r	7	Cxas	8	Cx	16
	AsDe	10	Cxde	4					Cxce	16
	Asir	5							De	23
	Asx	9								
	C	64								
	Cl	5								
	Cxc	680								
	Cxcv	14								
	Cxir	23								
	Deir	3								
Número de tipos de silbidos	10		2		1		1		3	
Número de silbidos	856		10		7		8		55	

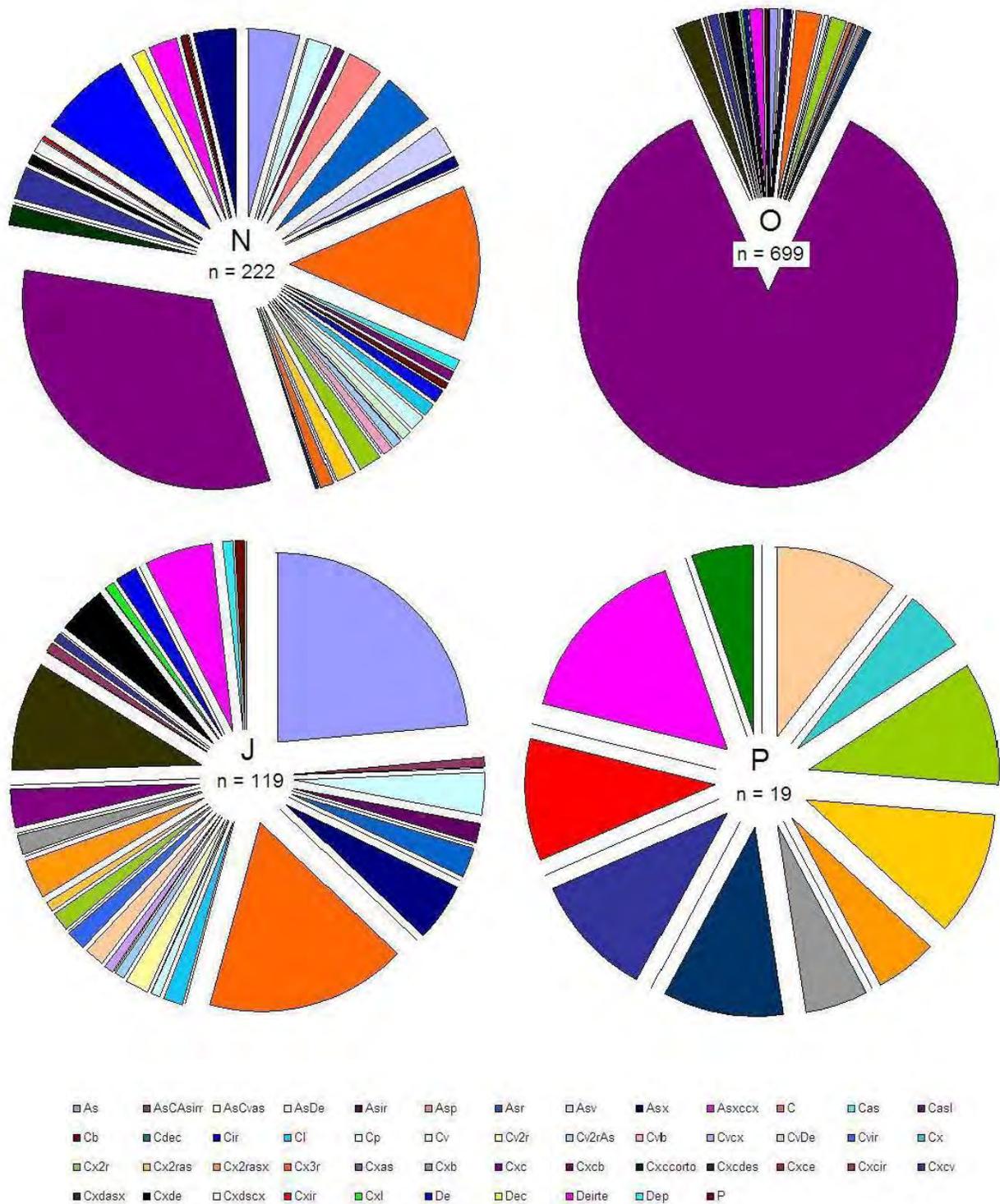


Figura 4.11. Uso de 49 tipos de silbidos de la clasificación manual durante los diferentes estados de comportamiento en el delfinario 1: “Six flags”. N: nado, O: observación, J: juego y P: conducta parasexual. En el estado de reposo no se registró ningún silbido.

Considerando los silbidos agrupados en 49 tipos, el tipo más usado fue el contorno convexo-constante, Cxc (Fig. 3.19, 64.2% de los silbidos analizados), el cual se emitió en tres estados de comportamiento donde hubo silbidos (con excepción de los estados de reposo y conducta parasexual, Tabla 4.6), pero principalmente durante el estado de observación (Fig. 4.11). Las variantes del contorno convexo-constante fueron emitidas durante todos los estados donde hubo silbidos (tipos Cxccorto, Cxce y Cxcde, Tabla 4.6), con excepción de los tipos Cxcb y Cxcir que fueron emitidos únicamente durante los estados de nado y observación, respectivamente (Tabla 4.5).

IV.4.2.2. Silbidos relacionados con el comportamiento considerando la clasificación automatizada

Al utilizar el método de clasificación automatizada de Deecke & Janik (2006) (Apéndice I) se definieron 121 tipos para 1175 silbidos en el capítulo III (90.1% de los silbidos), de los cuales únicamente se logró definir en qué estado fue emitido cada silbido para 1059 silbidos de 109 tipos (Tabla 4.7). Como se mencionó en el método, no se pudieron incluir todos los silbidos porque cuando éstos no pudieron ser adjudicados, ambos delfines debían estar en el mismo estado de comportamiento para considerar a los silbidos como emitidos en cierto estado de comportamiento. Como ya se mencionó, durante el estado de reposo no se registraron silbidos, lo que indica que el uso de los diferentes tipos de silbidos de acuerdo al estado de comportamiento no fue indistinto.

Considerando los silbidos agrupados en categorías fijas (i.e., ascendente, descendente, constante, cóncavo, convexo y múltiple) y dividiendo los silbidos múltiples en Cxc1, Cxc2, Cxccorto, Cxc** y el resto de los múltiples (Tabla 3.6), se encontraron cambios evidentes en el número de silbidos de cada tipo usados en los diferentes estados de comportamiento (Fig. 4.12). Durante el estado de observación el 66.8% de los 1059 analizados y el 98.6% de los registrados en este estado fueron de los tipos Cxc1 y Cxc2, durante los estados de nado y juego alrededor del 60% de los silbidos emitidos fueron de contorno ascendente y constante y durante la conducta parasexual se emitieron principalmente silbidos de contorno Cxc**.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS: RELACIÓN SILBIDOS VS. COMPORTAMIENTO

Tabla 4.7. Número de silbidos emitidos por los delfines 1 (D1) y 2 (D2) del delfinario 1: “Six Flags” en cada estado de comportamiento, así como el número de silbidos no adjudicados emitidos cuando ambos delfines se encontraban en el mismo estado de comportamiento considerando cada tipo de silbido de la clasificación automatizada. N: nado, O: observación y J: juego. En el estado de reposo no se registró ningún silbido.

	Tipo de silbido	D1N	D2N	NaN	N	D1O	D2O	NAO	O	D1J	D2J	NAJ	J	D1P	D2P	NA P	P	TOTAL
1	Cxc2				0		560		560				0				0	560
2	Cxc1				0	147			147				0				0	147
3	Cxc**1	12	2		14	1		1	2	3		2	5				0	21
4	As11				0				0		4	10	14				0	14
5	Cxccorto1				0		4		4		7	2	9				0	13
6	As9			2	2		1		1	1	2	4	7				0	10
7	As1	4			4	2	2		4	1			1				0	9
8	Cxc**7	3			3	2		1	3	1	1	1	3				0	9
9	Cx3	3		2	5		1	1	2	1	1		2				0	9
10	Cv2	7			7	1			1				0				0	8
11	As4	4	1	1	6				0		1	1	2				0	8
12	Cx2	2	1	1	4		2		2			1	1				0	7
13	As3	3			3	2			2			1	1				0	6
14	C5	2	2	1	5	1			1				0				0	6
15	De2	2			2	1	1	1	3				0			1	1	5
16	Mult14	2	2		4				0	1	1		2				0	6
17	As10	2			2				0	2		2	4				0	6
18	Cx7		2		2	1	1		2	1		1	2				0	6
19	Cxccorto6				0		4	1	5			1	1				0	5
20	Mult18	4			4	1			1				0				0	5
21	As14	3	2		5				0				0				0	5
22	Mult5	2			2	2	1		3				0				0	5
23	Cx4	2			2				0	1		2	3				0	5
24	Cxc**3	2			2				0	1			1			2	2	5
25	As7	2		2	4				0		1		1				0	5
26	C7	2	2		4		1		1				0				0	5
27	Mult3		2		2		2		2	1			1				0	5
28	As16			3	3				0	2			2				0	5
29	C4				0		2		2			3	3				0	5
30	C10	4			4				0				0				0	4
31	As13	2			2	1			1	1			1				0	4
32	As17	2			2				0	2			2				0	4
33	De4	2			2				0	2			2				0	4
34	C19	2		2	4				0				0				0	4
35	As8		1		1	1			1	1		1	2				0	4
36	As2				0	2			2			2	2				0	4
37	C1				0		1	1	2		2		2				0	4
38	C8	2			2				0		1		1				0	3
39	C14	2		1	3				0				0				0	3
40	C18	2		1	3				0				0				0	3
41	Cxccorto2	2			2		1		1				0				0	3
42	De1	2		1	3				0				0				0	3
43	C12				0	1	1		1	1	1		2				0	3
44	Cx13				0	1	1		2	1			1				0	3
45	Cxc**6				0	2			2		1		1				0	3
46	C5				0				0	1		2	3				0	3
47	C13		1	1	2				0	1			1				0	3
48	Cv1				0				0	1		2	3				0	3
49	Cxccorto4				0				0	1	2		3				0	3
50	Cxc**4				0		1		1	2			2				0	3
51	Mult11				0				0	3			3				0	3
52	As6	2			2				0				0				0	2
53	As22	2			2				0				0				0	2
54	As24	2			2				0				0				0	2
55	C11	2			2				0				0				0	2
56	Cxccorto7	2			2				0				0				0	2
57	Mult10	2			2				0				0				0	2
58	Mult16	2			2				0				0				0	2
59	Mult22	2			2				0				0				0	2
60	C9	1			1		1		1				0				0	2

CAPÍTULO IV

RESULTADOS: RELACIÓN SILBIDOS VS. COMPORTAMIENTO

Tabla 4.7cont. Número de silbidos emitidos por los delfines 1 (D1) y 2 (D2) del delfinario 1: "Six Flags" en cada estado de comportamiento, así como el número de silbidos no adjudicados emitidos cuando ambos delfines se encontraban en el mismo estado de comportamiento considerando cada tipo de silbido de la clasificación automatizada. N: nado, O: observación y J: juego. En el estado de reposo no se registró ningún silbido.

	Tipo de silbido	D1N	D2N	NaN	N	D1O	D2O	NAO	O	D1J	D2J	NAJ	J	D1P	D2P	NAP	P	TOTAL
61	Cxc**9				0	2			2				0				0	2
62	Cx1				0				0	1			1			1	1	2
63	Mult21				0		1		1	1			1				0	2
64	As15				0				0	2			2				0	2
66	C2				0		1		1		1		1				0	2
66	Cx6			2	2				0				0				0	2
67	Cxc**5				0				0				0			2	2	2
68	Cxccorto3				0		1		1		1		1				0	2
69	Cxccorto9				0		2		2				0				0	2
70	De7			1	1				0				0			1	1	2
71	Mult15		2		2				0				0				0	2
72	Cx9	1			1				0				0				0	1
73	De6	1			1				0				0				0	1
74	As12				0	1			1				0				0	1
75	C15				0	1			1				0				0	1
76	Cv3				0	1			1				0				0	1
77	Cx8				0	1			1				0				0	1
78	Mult9				0	1			1				0				0	1
79	As19				0				0	1			1				0	1
80	As23				0				0	1			1				0	1
81	C17				0				0	1			1				0	1
82	C20				0				0	1			1				0	1
83	Cv6				0				0	1			1				0	1
84	Cxc**2				0				0	1			1				0	1
85	Cxccorto8				0				0	1			1				0	1
86	De3				0				0	1			1				0	1
87	De9				0				0	1			1				0	1
88	Mult2				0				0	1			1				0	1
88	Mult6				0				0	1			1				0	1
90	Mult7				0				0	1			1				0	1
91	Mult12				0				0	1			1				0	1
92	Mult17				0				0	1			1				0	1
93	As6		1		1				0				0				0	1
94	As18				0				0			1	1				0	1
95	As20		1		1				0				0				0	1
96	C3				0		1		1				0				0	1
97	C16				0				0		1		1				0	1
98	Cv4				0				0			1	1				0	1
99	Cv5			1	1				0				0				0	1
100	Cx10				0				0			1	1				0	1
101	Cx11				0				0			1	1				0	1
102	Cx12				0				0			1	1				0	1
103	Cx15				0		1		1				0				0	1
104	Cxccorto5				0		1		1				0				0	1
105	De5				0				0		1		1				0	1
106	De8		1		1				0				0				0	1
107	De10				0				0		1		1				0	1
108	De11				0				0		1		1				0	1
109	De12				0				0			1	1				0	1
		104	23	22	149	176	595	6	777	51	31	44	126	0	0	7	7	1059

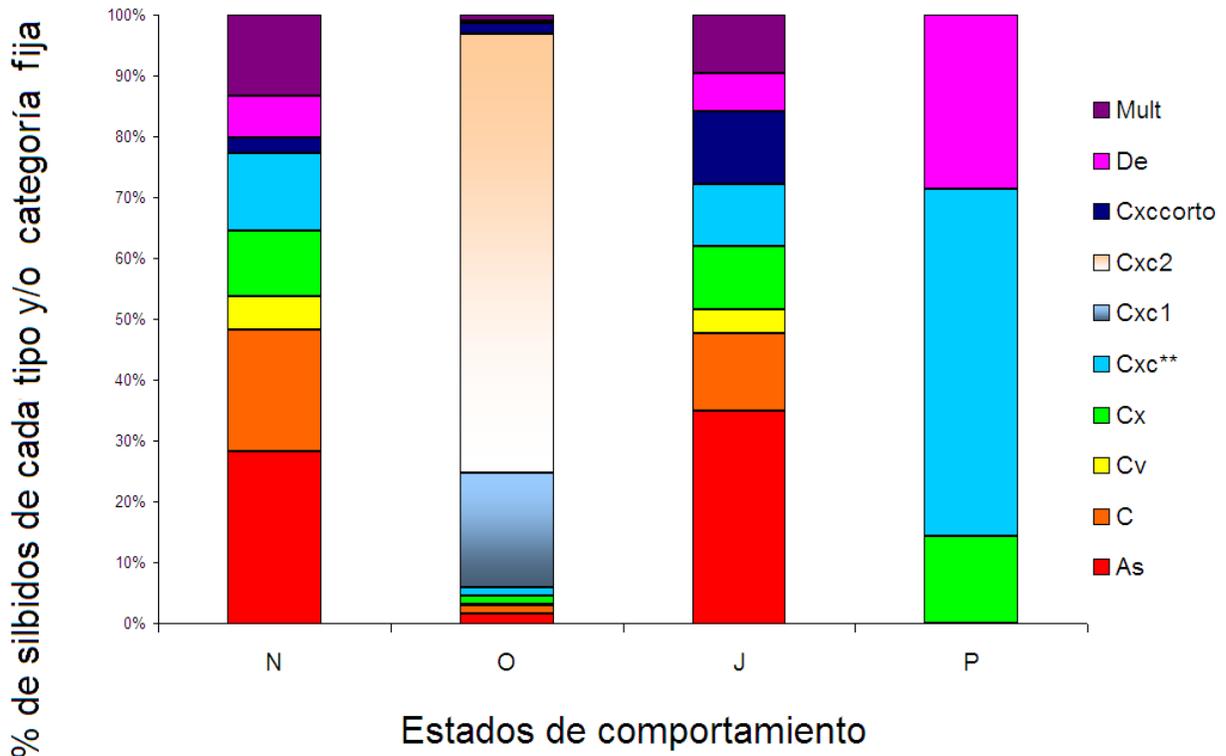


Figura 4.12. Porcentaje de silbidos de cada tipo, considerando la clasificación automatizada, usados durante los diferentes estados de comportamiento en el delfinario 1: “Six flags”. N: nado, O: observación, J: juego y P: conducta parasexual. En el estado de reposo no se registró ningún silbido.

La relación entre los tipos de silbidos y el estado de comportamiento fue más congruente que la observada con la clasificación manual, dado que 819 silbidos (77.3% de los silbidos analizados) de 64 tipos fueron asociados a un solo estado (Tabla 4.8). Sólo se emitieron durante nado seis tipos de silbidos ascendentes (i.e., As5, As22 y As24 para el D1, As6 y As20 para el D2 y As14 para ambos delfines), cinco tipos de silbidos constantes (i.e., C10 y C11 para el D1 y C14, 2 para el D1 y 1 que no fue adjudicado, C18, 2 silbidos para el D1 y 1 que no fue adjudicado, y C19, 2 para el D1 y 2 que no fueron adjudicados), un tipo de silbido cóncavo (i.e., Cv5 que no fue adjudicado), dos tipos de silbidos convexos (i.e., Cx9 para el D1 y Cx6 que no fue adjudicado), tres tipos de silbidos descendentes (i.e., De6 para el D1, De8 para el D2 y De1, 2 para el D1 y 1 que no fue adjudicado), cuatro tipos de silbidos múltiples (i.e., Mult10, Mult16 y Mult22 para el D1 y Mult15 para el D2) y un tipo de silbido Cxccorto (i.e., Cxccorto7 para el D1). Sólo se emitió durante observación un tipo de silbido ascendente (i.e., As12 para el D1), dos tipos de silbidos constantes (i.e., C15 para el D1 y C3 para el D2), un tipo de silbido cóncavo (i.e., Cv3 para

el D1), dos tipos de silbidos convexos (i.e., Cx8 para el D1 y Cx15 para el D2), un tipo de silbido múltiple (i.e., Mult9 para el D1) y cuatro tipos de silbidos Cxc (i.e., Cxc1 para el D1 y Cxc2, Cxccorto5 y Cxccorto9 para el D2). Sólo se emitieron durante juego cinco tipos de silbidos ascendentes (i.e., As15, As19 y As23 para el D1, As11, 4 silbidos para el D2 y 10 que no fueron adjudicados, y As18 que no fue adjudicado), cuatro tipos de silbidos constantes (i.e., C17 y C20 para el D1, C16 para D2 y C5, 1 silbido para el D1 y 2 que no fueron adjudicados), tres tipos de silbidos cóncavos (i.e., Cv6 para el D1, Cv1, un silbido para el D1 y 2 que no fueron adjudicados, y Cv4 que no fue adjudicado), tres tipos de silbidos convexos (i.e., Cx10, Cx11 y Cx12 que no fueron adjudicados), seis tipos de silbidos descendentes (i.e., De3 y De9 para el D1, De5, De10 y De11 para el D2 y De12 que no fue adjudicado), seis tipos de silbidos múltiples (i.e., Mult11, Mult2, Mult6, Mult7, Mult12 y Mult17 para el D1) y tres tipos de silbidos Cxc (i.e., Cxccorto8 y Cxc**2 para el D1 y Cxccorto4 para ambos delfines). Sólo se emitió durante la conducta parasexual un tipo de silbido Cxc (i.e., Cxc**5 que no fue adjudicado).

Con respecto a los silbidos que se registraron durante varios estados, los silbidos de contorno constante (tipos C1, C2, C4, C6, C7, C8, C9, C12 y C13), de contorno ascendente (tipos As1, As2, As3, As4, As7, As8, As9, As10, As13, As16 y As17) y de contorno múltiple (tipos Mult3, Mult5, Mult14, Mult18 y Mult21) se registraron nado, observación y juego (Tabla 4.9). Los silbidos de contorno convexo (tipos Cx1, Cx2, Cx3, Cx4 y Cx13) y de contorno descendente (tipos De2, De4 y De7) que se registraron durante varios estados se presentaron durante el nado, observación, juego y conducta parasexual. Los silbidos de contorno cóncavo fueron los menos ocurrentes y cuando se registraron durante varios estados se presentaron durante nado y observación (el tipo Cv2). Cabe resaltar que, contrario a lo obtenido con la clasificación manual, ningún tipo de silbido obtenido con la clasificación automatizada se registró en los cuatro estados de comportamiento (Tabla 4.9); y únicamente 13 tipos de silbidos con 111 silbidos (10% del total analizado) se registraron en tres estados de comportamiento, 11 tipos durante nado, observación y juego, un tipo compartido para nado, juego y conducta parasexual y otro para nado, observación y conducta parasexual. (Tabla 4.9).

Considerando los silbidos agrupados en 109 tipos, los tipos más usados fueron los contorno convexo-constante Cxc1 y Cxc2 (Fig. 3.15, 66.8% de los silbidos analizados), los cuales sólo se emitieron durante el estado de observación (Fig. 4.13, Tabla 4.8). Las

CAPÍTULO IV

RESULTADOS: RELACIÓN SILBIDOS VS. COMPORTAMIENTO

variantes del contorno convexo-constante fueron emitidas durante todos los estados donde hubo silbidos (tipos Cxc**, Tabla 4.9), con excepción de los tipos Cxc**2 y Cxc**5 que fueron emitidos únicamente durante los estados juego y conducta parasexual, respectivamente (Tabla 4.8).

Tabla 4.8. 64 tipos de silbidos considerando la clasificación automatizada emitidos en un solo estado de comportamiento en el delfinario 1: "Six Flags". R: reposo, N: nado, O: observación, J: juego y P: conducta parasexual (N=819 silbidos).

	R	N	#	O	#	J	#	J	#	P	#
		As14	5	Cxc2	560	As11	14	Cv4	1	Cxc**5	2
		C10	4	Cxc1	147	C5	3	Cx10	1		
		C19	4	Cxccorto9	2	Cv1	3	Cx11	1		
		C14	3	As12	1	Cxccorto4	3	Cx12	1		
		C18	3	C15	1	Mult11	3	De5	1		
		De1	3	Cv3	1	As15	2	De10	1		
		As5	2	Cx8	1	As19	1	De11	1		
		As22	2	Mult9	1	As23	1	De12	1		
		As24	2	C3	1	C17	1				
		C11	2	Cx15	1	C20	1				
		Cxccorto7	2	Cxccorto5	1	Cv6	1				
		Mult10	2			Cxc**2	1				
		Mult16	2			Cxccorto8	1				
		Mult22	2			De3	1				
		Cx6	2			De9	1				
		Mult15	2			Mult2	1				
		Cx9	1			Mult6	1				
		De6	1			Mult7	1				
		As6	1			Mult12	1				
		As20	1			Mult17	1				
		Cv5	1			As18	1				
		De8	1			C16	1				
Número de tipos de silbidos	0	22		11		30				1	
Número de silbidos	0	48		717		52				2	

Tabla 4.9. Uso de los 44 tipos de silbidos de la clasificación automatizada durante los diferentes estados de comportamiento en el delfinario 1: "Six flags". N: nado, O: observación, J: juego y P: conducta parasexual. En el estado de reposo no se registró ningún silbido (N=240 silbidos).

	NO	#	NJ	#	NP	#	OJ	#
	Cv2	8	As4	8	De7	2	Cxccorto1	13
	C6	6	Mult14	6			Cxccorto6	6
	Mult5	5	As10	6			Mult18	5
	C7	5	Cx4	5			C4	5
	Cxccorto2	3	As7	5			As2	4
	C9	2	As16	5			C1	4
			As17	4			C12	3
			De4	4			Cx13	3
			C8	3			Cxc**6	3
			C13	3			Cxc**4	3
							Cxc**9	2
							Mult21	2
							C2	2
							Cxccorto3	2
Número de tipos de silbidos	6		10		1		14	
Número de silbidos	29		49		2		57	

	JP	#	NOJ	#	NOP	#	NJP	#
	Cx1	2	Cxc**1	21	De2	6	Cxc**3	5
			As9	10				
			As1	9				
			Cxc**7	9				
			Cx3	9				
			Cx2	7				
			As3	6				
			Cx7	6				
			Mult3	5				
			As13	4				
			As8	4				
Número de tipos de silbidos	1		11		1		1	
Número de silbidos	2		90		6		5	

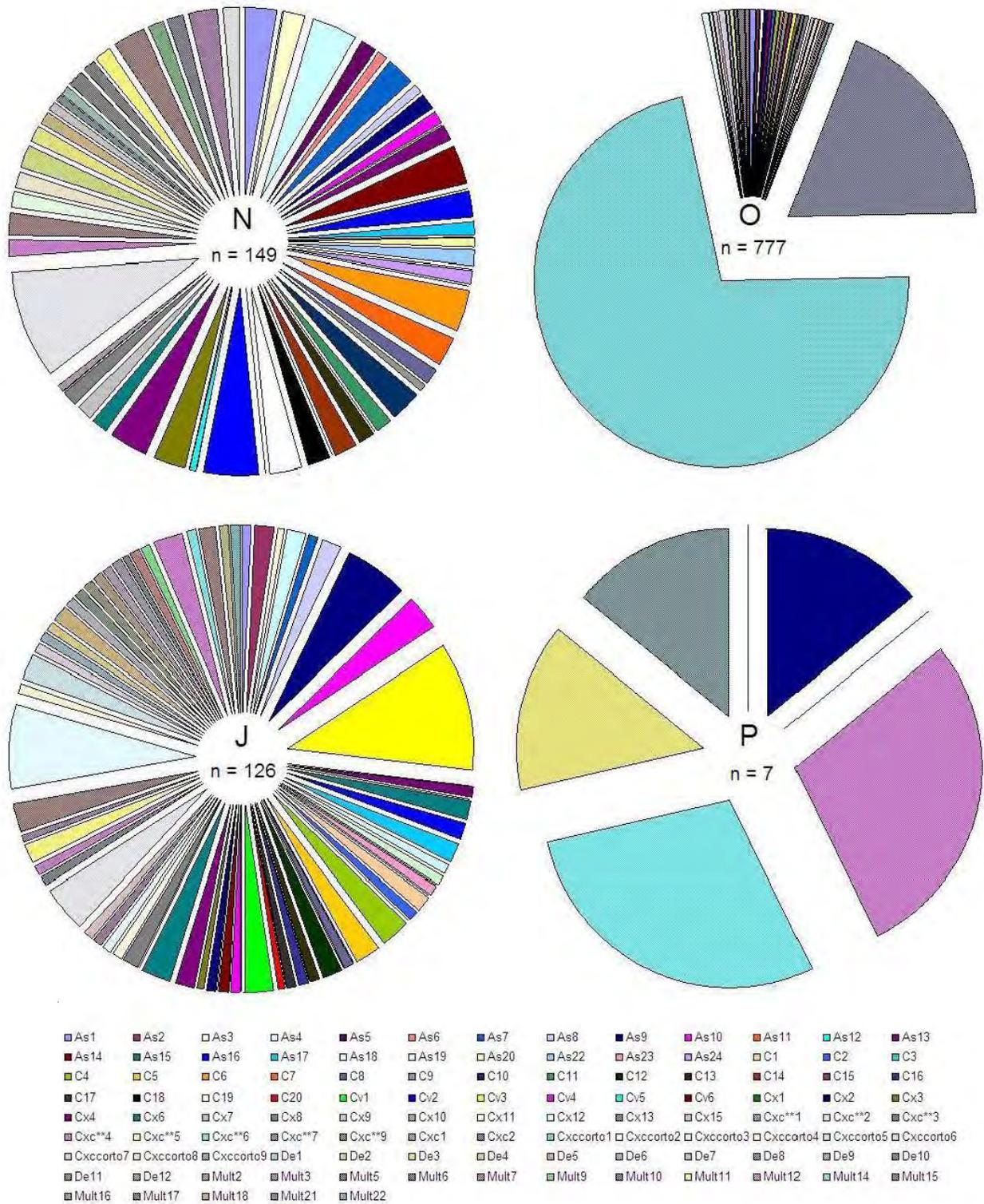


Figura 4.13. Uso de 109 tipos de silbidos de la clasificación automatizada durante los diferentes estados de comportamiento en el delfinario 1: “Six flags”. N: nado, O: observación, J: juego y P: conducta parasexual. En el estado de reposo no se registró ningún silbido.

IV.4. Discusión

El comportamiento encontrado mostró patrones diferentes en cada delfinario. En el delfinario 1: “Six Flags” los delfines principalmente nadaron y observaron alternadamente, mientras que en el delfinario 2: “Atlantis” los delfines nadaron simultáneamente, el D3 nadó más del 80% del tiempo muestreado y el D4 más del 90%. Estas diferencias se pueden deber a factores intrínsecos de los delfines (como la edad y el sexo) o bien a características propias del estanque (como el tamaño, los compañeros de estanque y/o las actividades que realizan de manera cotidiana).

En cuanto a la diferencia de edades, según Delgado Estrella (2002) el juego es realizado principalmente por individuos jóvenes y los individuos solitarios juegan con objetos flotantes como esponjas o plásticos. Estas observaciones concuerdan con los resultados obtenidos: el delfín que más jugó fue el D3, que es joven, y todos los delfines jugaron con objetos flotantes, aunque no fueran solitarios.

En cuanto a la diferencia en el tamaño del estanque, Bassos & Wells (1996) compararon la actividad de delfines en dos estanques, uno rectangular de 16.45 m × 12.19 m × 2.44 m de profundidad y otro circular de 9.14 m de diámetro × 1.83–2.13 m de profundidad, y observaron que el nado era predominante en el estanque rectangular que era más grande y el reposo en el estanque circular que era más pequeño. En este estudio los resultados encontrados fueron inversos. En el estanque más grande, el estanque oval del delfinario 1: “Six Flags” con 28 m de diámetro mayor, se observó más el reposo y en el estanque más pequeño, el estanque oval del delfinario 2: “Atlantis” con 17 m de diámetro mayor, los delfines nadaron más del 80% del tiempo.

En delfinarios donde los delfines tienen acceso a estanques de distinto tamaño, Shyan (2002) encontró que los delfines preferían permanecer más tiempo en el estanque de tamaño medio (estanque circular con 17 m de diámetro), sin encontrar una explicación a este hecho. El estanque del delfinario 2: “Atlantis” donde los delfines pasaron la mayor parte del tiempo es un estanque oval con diámetro semejante (tenían acceso a un estanque anexo circular de 6 m de diámetro, Fig. 1.18). Es posible, que los delfines se sientan más cómodos en un estanque de dimensiones alrededor de los 17 m y por ello los delfines del delfinario 2: “Atlantis” nadaron la mayor parte del tiempo en el estanque más grande.

En cuanto al compañero de estanque, un estudio previo en el delfinario “Aragón” de la ciudad de México que tiene un estanque oval con un diámetro de 12 m (Cerón Benitez, 2004) investigó el comportamiento no acústico realizado por los delfines, considerando también el tiempo de entrenamiento y el de alimentación que en este estudio no fueron considerados, y encontró que, aunque los delfines nadaron la mayor parte del tiempo, el resto del tiempo el comportamiento de los delfines cambiaba dependiendo de su compañero (Tabla 4.10). Durante la realización del estudio de Cerón Benitez (2004) los delfines tuvieron distintos compañeros de la siguiente manera:

- A. Dos machos fueron compañeros durante 96 horas de estudio y el comportamiento que más realizaron fue el tránsito (equivalente al nado de este estudio, con 37%), seguido del entrenamiento (con 26%), del juego (con 23%), el reposo (con 7%) y por último por la alimentación (con 5%).
- B. Dos hembras y dos machos fueron compañeros durante 48 horas de estudio y el comportamiento que más realizaron fue el tránsito (con 45%), seguido del juego (con 23%), del entrenamiento (con 20%), la alimentación (con 6%) y el reposo (con 3%) y el cortejo (con 3%).
- C. Un macho y una hembra fueron compañeros durante 144 horas de estudio y el comportamiento que más realizaron fue el tránsito (con 43%), seguido del juego (con 21%) y del entrenamiento (con 21%), del cortejo (con 9%), de la alimentación (con 6%) y del reposo (con 3%).

Para comparar el tiempo que los delfines pasaron en cada estado de comportamiento no acústico en el presente estudio con lo reportado por Cerón Benitez (2004) se descartó el tiempo de entrenamiento y de alimentación reportados por Cerón Benitez (2004), se consideró el tiempo de cortejo como el tiempo de conducta parasexual y el tiempo de tránsito como el tiempo de nado (Tabla 4.10). El estado de observación no fue reportado por Cerón Benitez (2004). Como ya se mencionó, en este estudio se encontró que los delfines del delfinario 1: “Six Flags” no nadaron la mayor parte del tiempo, sino que estuvieron observando, y en el delfinario 2: “Atlantis” nadaron mucho más que los delfines estudiados por Cerón Benitez (2004). Además, aunque en el delfinario 1: “Six Flags” cohabitaban una hembra y un macho, la conducta parasexual apenas alcanzó el 1% del tiempo, mientras que para los delfines estudiados por Cerón Benitez (2004) las parejas

estuvieron entre el 4 y el 12% en cortejo. Por último, Cerón Benitez (2004) reporta que los delfines jugaron una tercera parte del tiempo, mientras que en este estudio los delfines de ambos delfinarios jugaron menos del 2% del tiempo. Estos resultados indican que el comportamiento de los delfines cambia no solamente por los compañeros de estanque como lo reportado por Cerón Benitez (2004), sino que los cambios en el comportamiento de los delfines deben ser multicausales, incluyendo, la edad, el tipo de estanque y el compañero.

Tabla 4.10. Porcentaje del tiempo que los delfines dedicaron a cada estado de comportamiento no acústico en los delfinarios 1: “Six Flags” y 2: “Atlantis” y en lo reportado por Cerón Benitez (2004). R: reposo, N: nado, O: observación, J: juego y P: conducta parasexual. M: macho, H: hembra.

	Cerón Benitez (2004)			este estudio	
				Delfinario 1	Delfinario 2
tiempo de muestreo (h)	64.32	35.52	134.52	52.35	45.31
compañeros	M1,M2	M1,M2,H1,H2	M1,H1	D1(M),D2(H)	D3(H),D4(H)
Estado					
R	10.5	4.1	4.0	13.1	1.3
O	-	-	-	43.4	10.6
N	55.2	60.8	56.6	41.0	86.8
J	34.3	31.1	27.6	1.5	1.4
P	0.0	4.1	11.8	1.0	0.0
TOTAL	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0

En cuanto a las diferencias en las actividades que realizan de manera cotidiana, existe una controversia en el efecto que las interacciones con humanos pueden tener sobre los delfines. Por un lado se sostiene que tienen efectos negativos y, por otro, se ha encontrado que no hay diferencias ni a corto ni a largo plazo y que además presentan una mejor salud psicológica los delfines que tienen interacciones con humanos (Trone *et al.*, 2005). Además, se han descrito diversas anormalidades en el comportamiento de un delfín estresado, como comportamientos estereotípicos, falta de respuesta, excesiva sumisión, agresión o conductas sexuales, automutilación o autoagresión e inducción al vómito (Frohoff, 2008). Ninguno de estos comportamientos fue observado en los delfines que participan en terapia asistida y nado con delfines (obs. pers.). En el delfinario 1: “Six

Flags”, los D1 y D2 no participaban en el nado con delfines y terapia asistida, es decir, no tenían contacto directo con el público mientras se realizó este estudio. En el delfinario 2: “Atlantis”, los D3 y D4 sí tuvieron contacto directo con el público mientras se realizó este estudio durante otros días que no fueron los que se muestrearon (en este estudio sólo se incluyeron los días en que los delfines nadaron libremente y no interactuaron con los humanos mas que para ser alimentados y entrenados). Los delfines del delfinario 2: “Atlantis” fueron más activos y, si se describen antropocéntricamente, más “amigables” y “alegres”. Entonces, sería posible concluir que la interacción con humanos resulta benéfico para los delfines en cautiverio, ya que los expone a un mayor número de situaciones.

Por último, cabe mencionar que la población de origen de los delfines también podría ser un factor que influye en las diferencias encontradas en el comportamiento no acústico realizado por los delfines de ambos delfinarios, ya que los delfines del delfinario 1: “Six Flags” provienen del Océano Pacífico y los delfines del delfinario 2: “Atlantis” provienen del Golfo de México. Sin embargo no se encontró ningún estudio previo al respecto.

Cuando se determinó la relación entre los silbidos emitidos y las actividades que realizaban los delfines en el delfinario 1: “Six Flags”, se encontraron diferencias dependiendo de la clasificación de silbidos utilizada, tanto en los tipos de silbidos usados como en el número de silbidos de cada tipo que se produjeron. Los tipos de silbidos utilizados únicamente en un estado de comportamiento fueron de 19 tipos con la clasificación manual (con 45 silbidos) y de 64 tipos con la clasificación automatizada (con 819 silbidos) (Tabla 4.5 vs. 4.6). Los tipos de silbidos usados en más de un estado de comportamiento fueron de 30 tipos con la clasificación manual (con 1014 silbidos) y de 44 tipos con la clasificación automatizada (con 240 silbidos) (Tabla 4.6 vs. 4.7). Así, con la clasificación automatizada se obtuvieron un mayor número de tipos de silbidos para un estado de comportamiento específico. Esto indica que la clasificación automatizada representa no sólo los silbidos emitidos por cada individuo, como se mencionó en el capítulo III, sino también aquellos emitidos en un solo estado de comportamiento. Cabe resaltar que en este estudio se encontró que la clasificación automatizada fue más fina que la manual, con un mayor número de categorías para las que se grabó un solo silbido (38 tipos de silbidos con N=1), por lo que se tuvo una mayor cantidad de tipos de silbidos asociados a un solo estado de comportamiento. Para la clasificación manual únicamente se encontraron 7 tipos de silbidos con N=1. Sin embargo, al eliminar estos 38 silbidos que

dieron 38 tipos de silbidos para la clasificación automatizada, los silbidos asociados a un solo estado de comportamiento fue mucho mayor con la clasificación automatizada (819-38 = 781 silbidos) que con la manual (45-7 = 38 silbidos), indicando que la clasificación automatizada representa de mejor manera el repertorio de silbidos de los delfines que la clasificación manual y describe los silbidos emitidos en un solo estado de comportamiento.

Además, la clasificación automatizada permitió confirmar que el uso de los silbidos estereotípicos en el delfinario 1: “Six Flags” se dio durante situaciones particulares. El tipo de silbido de contorno Cxc dominó el repertorio de los D1 y D2 (Cxc1, N=147 y Cxc2, N=560), presentó la mayor estereotipia y fue agrupado con la clasificación automatizada tanto por individuo como por estado de comportamiento. Se encontró que cuando D1 estuvo en el estado de observación, el cual ocurría cuando se aproximaba la hora de ser alimentado, emitió silbidos del tipo Cxc1, así como el D2 emitió los silbidos de tipo Cxc2. Los silbidos de contorno Cxc de otros tipos que la clasificación automatizada los considero como distintos tipos y que con la clasificación manual se consideraron como el mismo tipo de silbido fueron emitidos durante otros estados de comportamiento. Entonces, los delfines del delfinario 1: “Six Flags” utilizaron sus tipos de silbidos obtenidos con la clasificación automatizada de manera diferente en cada estado de comportamiento. Estos resultados son análogos a lo que se ha descrito para los silbidos firma; los silbidos firma son estereotípicos (Deecke & Janik, 2006) y son utilizados durante situaciones de aislamiento (Janik & Slater, 1998). Los tipos de silbidos Cxc1 y Cxc2 podrían ser considerados como los silbidos firma de los D1 y D2 del delfinario 1: “Six Flags”, pero con la diferencia de que estos tipos de silbidos fueron usados sólo en el estado de observación y el D1 fue el único que los produjo en aislamiento cuando observaba (el D2 en aislamiento no produjo silbidos, como se mencionó en el capítulo III, mucho menos el de contorno Cxc2).

Es posible que los otros contornos asociados a un estado de comportamiento particular también presenten estereotipia y que por ello hayan sido separados en distintas categorías según el contexto en que fueron emitidos. Para confirmar este supuesto es necesario realizar un estudio de estereotipia de estos tipos de silbidos, para lo cual se requiere incrementar el número de silbidos de cada tipo.

De los silbidos registrados en un solo estado en el delfinario 1: “Six Flags”, el repertorio más rico considerando la clasificación manual fue el emitido durante el estado de nado y considerando la clasificación automatizada se presentó durante el estado de juego,

aunque durante el estado de nado también se registraron muchos tipos de silbidos (más del doble que en los estados de observación y conducta parasexual, Tabla 4.6). El repertorio menos rico y menos abundante fue el obtenido durante la conducta parasexual, probablemente porque este estado de comportamiento fue el que menos se registró durante este estudio (15 min de los 2290 min analizados). Esta diferencia en el estado de comportamiento que presentó el repertorio más rico de acuerdo a la clasificación utilizada probablemente se deba, como ya se mencionó, a que en la clasificación manual no se consideraron tantas variaciones como lo hizo la clasificación automatizada.

Con respecto a la relación entre el comportamiento acústico y no acústico en *Tursiops truncatus* se encontraron dos estudios, uno en un encierro o estanque seminatural (Thomas, 2001) y otro con poblaciones silvestres del Mar Mediterráneo (Díaz López & Bernal Shirai, 2009). Sin embargo, en ambos estudios tanto las emisiones acústicas como el comportamiento no acústico fueron clasificados de manera distinta que en el presente trabajo e incluyeron todos los tipos de emisiones acústicas de los delfines y no sólo los silbidos. En el estudio del ambiente seminatural se clasificó el comportamiento acústico en señales tonales, pulsos y pulsos explosivos y el comportamiento no acústico de los delfines en actividades afiliativas y agonísticas y se encontró que existieron cambios en la proporción de las emisiones acústicas de acuerdo a la actividad (Thomas 2001). En el estudio en el Mar Mediterráneo las señales acústicas se clasificaron en tonales, pulsos explosivos cortos y pulsos explosivos largos y el comportamiento no acústico en estados de comportamiento social, viaje y depredación (Díaz López & Bernal Shirai, 2009) y también encontraron diferencias significativas en la proporción de emisiones acústicas de acuerdo al estado de comportamiento. Esto indica que los delfines también utilizan de manera selectiva sus distintos tipos de emisiones acústicas.

Finalmente, cabe mencionar que el repertorio de silbidos puede ser característico de una especie, población o individuo; sin embargo, el tamaño del repertorio depende de los criterios utilizados por el clasificador. Cuando la clasificación es subjetiva, como la clasificación manual utilizada en este estudio, se dificulta la comparación de los resultados con otros trabajos y no se tiene la certeza de que las categorías definidas puedan ser repetibles por otros clasificadores. Por ello, resulta lógico utilizar una clasificación automatizada, como la usada en este estudio, que resulte objetiva y sobretodo repetible, lo cual permite que sea comparada entre estudios.

IV.5. Conclusiones

Se observaron diferencias drásticas en el comportamiento de los delfines entre delfinarios. En el delfinario 2: “Atlantis” los delfines nadaron casi todo el tiempo, como se reportó en otro estudio de comportamiento con delfines en cautiverio (Cerón Benitez, 2004), mientras que en el delfinario 1: “Six Flags” uno de los delfines nadó y observó la mayor parte del tiempo y el otro delfín observó y reposó. En el delfinario 2: “Atlantis” ambos delfines se encontraron en el mismo estado la mayor parte del tiempo, mientras que en el delfinario 1: “Six Flags” los delfines, cuando nadaban, usualmente lo hacían alternadamente. Entonces, el comportamiento de los delfines en cautiverio debe estar determinado por diferentes factores, incluyendo la edad, el tipo de estanque y el compañero, y hasta la población de origen.

Los silbidos emitidos por los delfines en el delfinario 1: “Six Flags” mantuvieron una relación con la actividad que desarrollaban. En el estado de reposo no se registró ningún silbido y en el estado de observación, en el que los delfines pasaron gran parte del tiempo (principalmente el D2 que resultó ser el más silbador), se registraron la mayoría de los silbidos distribuidos en pocos tipos de silbidos. Los silbidos de tipo Cxc resultaron ser los más abundantes en el delfinario 1: “Six Flags” y, considerando la clasificación automatizada, los contornos Cxc1 y Cxc2 fueron exclusivos del estado de observación para cada uno de los delfines.

El que los delfines tuvieran un repertorio de silbidos mucho más rico durante los estados de juego y nado indica que los silbidos fueron variables dependiendo de la actividad de los delfines. Entonces, el que exista un mayor número de tipos de silbidos en cierto estado de comportamiento probablemente se deba a que los delfines necesitan transmitir información más diversa en estas situaciones, confirmando el supuesto de que los delfines utilizan sus silbidos en la comunicación entre individuos.

Finalmente, se encontró que la clasificación de silbidos automatizada resultó ser más fina y adecuada para agrupar los silbidos en tipos por estado de comportamiento, ya que no se agruparon silbidos que hubieran sido registrados durante los cuatro estados de comportamiento. El mismo tipo de silbido se registró únicamente durante el nado, observación y juego, durante el nado, juego y conducta parasexual o durante el nado, observación y conducta parasexual.

Capítulo V. COMENTARIOS FINALES

Los objetivos de este estudio se enfocaron a obtener información de delfines en cautiverio que permitieran sentar las bases para el esclarecimiento de incógnitas que quedan pendientes para la mayoría de los estudios acústicos y de comportamiento en delfines, que se han realizado tanto en poblaciones silvestres como en delfines en cautiverio. En poblaciones silvestres, existen dificultades de muestreo en el medio acuático que impiden poder definir cuántos animales están siendo grabados acústicamente, ya que no se puede observar a todos los animales al mismo tiempo ni se pueden observar las actividades subacuáticas realizadas en la mayoría de las aguas del mundo. Entonces, generalmente se obtienen sólo registros de actividades en superficie.

El primer reto de este estudio fue la construcción del arreglo para grabar los silbidos de los delfines nadando libremente que, mediante el método de la hipérbola, pudiera ser utilizado para localizar la fuente o el delfín emisor. Aquí se incluye también el diseño de un sistema de video que permitiera identificar al delfín emisor, a lo que en conjunto se le denominó el método combinado acústico-visual. Esto se logró con éxito para el delfinario 1: “Six Flags” y no se pudo realizar para el delfinario 2: “Atlantis” porque se requiere de un esfuerzo de muestreo y análisis mucho mayor para identificar al delfín silbante debido a que los delfines del delfinario 2: “Atlantis” nadaban casi todo el tiempo y uno al lado del otro o uno abajo del otro, además de silbar simultáneamente. Sin embargo, quedó demostrado que con un método simple y no muy costoso, aunado al uso de la estereotipia en los silbidos y a pautas de comportamiento, se puede obtener un repertorio muy completo para cada delfín en cautiverio nadando libremente. Esta técnica se puede implementar en otros delfinarios que mantengan un número no mayor a tres delfines y, así, poder obtener más repertorios individuales de delfines en cautiverio.

El segundo reto fue la obtención de un número de silbidos adecuado de cada individuo para la construcción de su repertorio, ya que en el delfinario 1: “Six Flags” el esfuerzo de muestreo tuvo que ser muy extenso para obtener un número adecuado de silbidos. Los delfines 1 y 2 tuvieron una tasa de emisión de silbidos muy baja: después de 4799 minutos de grabación en 35 días, sólo en 447 minutos de 22 días se grabaron los 1365 silbidos de

los que 946 silbidos pudieron ser adjudicados al delfín que lo emitió empleando el método combinado acústico-visual-etológico (311 para el delfín 1 y 749 para el delfín 2).

El reto para obtener un número de silbidos adecuado para cada individuo en el delfinario 2: “Atlantis” no radicó tanto en la tasa de emisión de silbidos, sino en la forma en que fueron emitidos. Los delfines 3 y 4 nadaron la mayor parte del tiempo lado a lado o uno sobre otro y los delfines 3 y 5 silbaron tanto, que la mayoría de sus silbidos estaban traslapados y no se pudo definir ni dónde iniciaban ni dónde terminaban. Ambas situaciones complicaron la adjudicación de los silbidos y se hubiera tenido que muestrear mucho más que en el delfinario 1: “Six Flags” para obtener un número adecuado de silbidos por individuo. Pero entonces, la proporción de silbidos adjudicados con respecto a los emitidos hubiera sido muy baja y probablemente no hubieran sido representativos del repertorio individual, sino de las situaciones en que se emitieron. Así, para el delfinario 2: “Atlantis”, el repertorio de silbidos individual fue obtenido únicamente para el delfín 3 cuando éste se quedó solo en el estanque: en 212 min grabados en 2 días se obtuvieron 721 silbidos en 124 minutos. ¡El tamaño del repertorio de silbidos del delfín 3 obtenido con 212 min es comparable al obtenido para los delfines 1 y 2 en 4799 min!

Un tercer reto lo representó el análisis de los silbidos, especialmente la categorización de los contornos de los silbidos. Para el delfinario 1: “Six Flags” este análisis fue relativamente sencillo, pues no había tanta variabilidad en los contornos de los silbidos. Pero para el delfinario 2: “Atlantis” la variabilidad en los contornos de los silbidos era tan grande que la gran mayoría de los silbidos hubieran sido clasificados en categorías únicas, es decir, la mayoría de las categorías se habrían determinado con un solo silbido. Sin embargo, se construyeron los repertorios de silbidos para las tres situaciones de compañeros del delfín 3 en el delfinario 2: “Atlantis” y éstos se compararon entre sí y con el repertorio de silbidos del delfinario 1: “Six Flags”. Se encontró que aunque los delfines de ambos delfinarios nunca tuvieron contacto entre sí, provienen de diferentes poblaciones y eran de diferentes edades, tuvieron tipos de silbidos en común. Entonces, existen silbidos para los delfines de la especie *T. truncatus* que son independientes de la población y del grupo de edad al que pertenecen los delfines. La diferencia radica en el uso que los delfines hacen de estos tipos de silbidos compartidos.

Y este uso de los distintos tipos de silbidos también varió para cada individuo. Los delfines 1 y 2 emitieron principalmente silbidos de contorno convexo-constante (Cxc) y el delfín 3 emitió principalmente silbidos de contorno constante-convexo-constante de una, dos y tres repeticiones (Ccxc, Ccxc2r, Ccxc3r). Estos tipos de silbidos emitidos en gran abundancia por los delfines fueron silbidos estereotípicos. Esta estereotipia en un tipo de silbido por individuo coincide con la teoría del “silbido firma”. Sin embargo, la definición de “silbido firma” no concuerda con las características de los silbidos estereotípicos de cada uno de los tres individuos estudiados. El silbido de tipo Cxc fue emitido por los tres individuos. Para los delfines 1 y 2 fue muy abundante con una estereotipia de 93.4% y 92.0%, respectivamente. Para el delfín 3, no fue muy abundante pero tuvo una estereotipia de 90.5%. Esto indica que un tipo de silbido tiene características individuales, es decir, cada individuo lo modula de una manera peculiar de manera análoga a decir que cada delfín tiene su voz.

Finalmente, al relacionar la emisión de silbidos con las actividades que realizaron los delfines se observaron diferencias muy marcadas por delfinario. En el delfinario 1: “Six Flags” se encontró que algunos tipos de silbidos se produjeron cuando se presentó una actividad particular. Por ejemplo, los silbidos de mayor uso y que resultaron ser estereotípicos se asociaron a la observación. Además, unos de los tipos de silbidos muy cortos de contorno ascendente sólo se emitieron mientras nadaban y otros mientras jugaban. Los silbidos de contorno múltiple de forma sinusoidal fueron comúnmente emitidos mientras los delfines jugaban. Y cuando los delfines del delfinario 1: “Six Flags” fueron cambiados de estanque, emitieron un silbido de contorno descendente irregular.

Esto indica que los delfines emiten los distintos tipos de silbidos con una diferente ocurrencia, por lo que estos resultados confirman que los silbidos son utilizados como señales en la comunicación acústica de los delfines y deben proveer de información muy específica. Entonces, del conocimiento adquirido durante la realización de este trabajo se desprenden las siguientes recomendaciones:

Cuando se realicen grabaciones acústicas de delfines en cautiverio se debe:

1. Obtener la mayor información posible acerca de los delfines grabados, incluyendo la población de procedencia, su edad, tiempo en cautiverio y compañeros con los que se ha albergado.

2. Mantener bitácoras de las actividades realizadas por los delfines, además de incluir eventos como la presencia de humanos y aquellos que resulten nuevos y pueden dar lugar a la emisión de silbidos diferentes, como sucedió en este trabajo.

Para poder extrapolar los resultados de este trabajo en animales silvestres:

3. Es necesario que las grabaciones acústicas de los animales silvestres provengan de manadas con un número reducido de individuos y que se realicen simultáneamente al registro de las actividades que realizan los individuos grabados.

Por último, es posible que la estereotipia en los silbidos pueda ser utilizada para determinar el número de individuos presentes en la grabación, por lo que al realizar el análisis de los silbidos se deben:

4. Seleccionar los tipos de silbidos más ocurrentes y medir su estereotipia para tratar de relacionar el número de silbidos estereotípicos con el número de individuos presentes en la grabación.

Literatura citada

- Andre, M., M. van der Schaar, A. Mas, A. Roma, J.V. Castell, M. Morell, M. Solè, J.F. Rolin & R. Person. 2008. Real-time acoustic monitoring of the deep-ocean environment. *J. Acoust. Soc. Am.* 123(5):3363.
- Au, W.W.L. 1993. The sonar of dolphins. Nueva York: Springer. 277 pp.
- Au, W.W.L. & M.C. Hastings. 2008. Principles of Marine Bioacoustics. Nueva York: Springer. 680 pp.
- Bassos, M.K. & R.S. Wells. 1996. Effect of pool features on the behavior of two bottlenose dolphins. *Mar. Mammal Sci.* 12(2):321–324.
- Bazúa Durán, M. C. 1997. Comparación de vocalizaciones entre distintos grupos de delfines (*Tursiops truncatus*) del Golfo de México. Tesis de Maestría en Ciencias del Mar, UACPyP-CCH, Universidad Nacional Autónoma de México, México, D.F. 274 pp.
- Bazúa Durán, M.C. 2001. The whistles of Hawai`ian spinner dolphins (*Stenella longirostris*): description and geographic variations. Tesis Doctoral, University of Hawai`i, EE.UU. 393 pp.
- Bazúa-Durán, C. 2004 Differences in the whistle characteristics and repertoire of Bottlenose and Spinner Dolphins. *An. Açad. Bras. Cienc.* 76(2): 386-392.
- Bazúa-Durán, C. & W.W.L. Au. 2002. The whistles of Hawaiian spinner dolphins. *J. Acoust. Soc. Am.* 113(1):3064-3072.
- Bazúa-Durán, C. y A. Herrera-Hernández. 2007. Bottlenose dolphin (*Tursiops truncatus*) phonations: how recording and usage are related. *Bio-Acoustics 2007. Proceedings of the Institute of Acoustics* 29(3):43-46.
- Beecher, M.D. 1982. Signature systems and kin recognition. *Amer. Zool.* 22:477-490.
- Berta, A., J.L. Sumich & K.M. Kovacs. 2006. Marine Mammals: Evolutionary Biology. 2a. ed.. Nueva York: Academic Press. 560 pp.
- Blumstein, D. & O. Munos. 2005. Individual, age and sex-specific information is contained in yellow-bellied marmot alarm calls. *Anim. Behav.* 69:353–361.
- Buck, J.R. & P.L. Tyack. 1993. A quantitative measure of similarity for *Tursiops truncatus* signature whistles. *J. Acoust. Soc. Am.* 94(5):2497-2506.
- Burdic, W.S. 1991. Underwater acoustic system analysis. 2a. ed. Los Altos: Peninsula Publishing. 466 pp.
- Caldwell, M.C. & D.K. Caldwell. 1965. Individualized whistle contours in bottlenose dolphin (*Tursiops truncatus*). *Nature* 207(4995):434-435.
- Caldwell, M.C., D.K. Caldwell & P.L. Tyack. 1990. Review of the signature-whistle hypothesis for the Atlantic bottlenose dolphin. En: Leatherwood, S. & R.R. Reeves (eds), pp. 199-234. The bottlenose dolphin. San Diego: Academic Press. 653 pp.
- Cato, D.H. 1998. Simple methods of estimating source levels and locations of marine animal sounds. *J. Acoust. Soc. Am.* 104(3):1667-1678.
- Cerón Benitez, M. A. 2004. Estudio del comportamiento del delfín nariz de botella (*Tursiops truncatus*) en condiciones de cautiverio en el Acuario Aragón. Tesis

- profesional, Facultad de Estudios Superiores, Universidad Nacional Autónoma de México, Los Reyes Iztacala. 89 pp.
- Charif, R.A., S. Mitchell & C.W. Clark. 1995. Canary 1.2 User's Manual. Ithaca: Cornell Laboratory of Ornithology. 251 pp.
- Charif, R.A. A.M. Waack & L.M. Strickman. 2008. Raven Pro 1.3 User's Manual. Ithaca: Cornell Laboratory of Ornithology. 313 pp.
- Charrier, I. & R.G. Harcourt. 2006. Individual vocal identity in mother and pup Australian sea lions (*Neophoca cinerea*). *J. Mammal.* 87(5):929-938.
- Crance, J.L. 2008. Changes in killer whale, *Orcinus orca*, stereotyped call repertoires as a function of time and social association. Tesis de Maestría, University of San Diego, EE.UU. 236 pp.
- Cranford, T.W., W.G. Van Bonn, M.S. Chaplin, J.A. Carr, T.A. Kamolnick, D.A. Carder & S.H. Ridgway. 1997. Visualizing dolphin sonar signal generation using high-speed video endoscopy. *J. Acoust. Soc. Am.* 102(5):3123.
- Cranford, T.W., W.R. Elsberry, D.J. Blackwood, J.A. Carr, T. Kamolnick, M. Todd, W.G. Van Bonn, D.A. Carder, S.H. Ridgway, D.M. Bozliniski & E.C. Decker. 2000. Two independent sonar signal generators in the bottlenose dolphin: physiology evidence and implications. *J. Acoust. Soc. Am.* 108(5):2613.
- Dawson, S.M. 1991. Clicks and communication: The behavioural and social contexts of Hector's dolphin vocalizations. *Ethology* 88:265-276.
- Deecke, V.B. & V.M. Janik. 2006. Automated categorization of bioacoustic signals: Avoiding perceptual pitfalls. *J. Acoust. Soc. Am.* 119(1):645-653.
- Deecke, V.B., J.K.B. Ford & P. Spong. 1999. Quantifying complex patterns of bioacoustic variation: use of a neural network to compare killer whale (*Orcinus orca*) dialects. *J. Acoust. Soc. Am.* 105:2499–2507.
- DeFatta, D.J., J.G. Lucas & W.S. Hodgkiss. 1988. Digital Signal Processing: A System Design Approach. Appendix 11.A Conventional beamforming (CBF), pp. 628–652. Nueva York: Wiley. 661 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, Yucatan y Quintana Roo) Tesis Doctoral, Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México, México, D.F. 160 pp.
- Dias, P.A., A. Rangel-Negrín, A. Coyohua-Fuentes & D. Canales-Espinosa. 2009. Behaviour accumulation curves: a method to study the completeness of behavioural repertoires. *Anim. Behav.* 77:1551–1553.
- Díaz López, B. & J.A. Bernal Shirai. 2009. Mediterranean common bottlenose dolphin's repertoire and use. En: Pearce, A.G. & L.M. Correa (eds.), pp. 129-148. Dolphins: Anatomy, Behavior and Threats, Nova Science Publishers. http://www.thebdri.com/resources/downloads/DiazLopez_NScPub129148
- Dormer, K.J. 1979. Mechanisms of sound production and air recycling in delphinids: Cineradiographic evidence. *J. Acoust. Soc. Am.* 65(1):229-238.

- Dreher, J.J. 1961. Linguistic considerations of porpoise sounds. *J. Acoust. Soc. Am.* 33(12):1799-1800.
- Engh, A.L., R.R. Hoffmeir, D.L. Cheney & R.M. Seyfarth. 2006. Who, me? Can baboons infer the target of vocalizations? *Anim. Behav.* 71(2):381-387.
- Evans, W.E. & J.H. Prescott. 1962. Observations of the sound production capabilities of the bottlenose porpoise: a study of whistles and clicks. *Zoologica* 47(3):121-128.
- Ford, J.K.B. 1989. Acoustic behavior of resident killer whales off Vancouver Island British Columbia, Canada. *Can. J. Zool.* 67(3):727-745.
- Frankel, A.S., C.W. Clark, L.M. Herman & C.M. Gabriele. 1995. Spatial distribution, habitat utilization, and social interactions of humpback whales, *Megaptera novaeangliae*, off Hawai'i, determined using acoustic and visual techniques. *Can. J. Zool.* 73(6):1134-1146.
- Fripp, D. 2005. Bubblestream whistles are not representative of a bottlenose dolphin's vocal repertoire. *Mar. Mamm. Sci.* 21(1):29-44.
- Frohoff, T. 2008. Marine Animal Welfare (mammals and non-mammals). En: Lück, M. (ed.), pp. 515-521. Encyclopedia of Tourism and Recreation in Marine Environments. Wallingford: CABI Press.
- Frommolt, K.H., M.E. Goltsman & D. Macdonald. 2003. Barking foxes, *Alopex lagopus*: field experiments in individual recognition in a territorial mammal. *Anim. Behav.* 65(3):509-518.
- Gallo Reynoso, J.P. y Rojas Bracho, L. 1985. Nombres científicos y comunes de los mamíferos marinos de México. *An. Inst. Biol. UNAM Ser. Zool.* 56(3):1043-1056.
- Hamilton, H., S. Caballero, A.G. Collins & R.L. Brownell Jr. 2001. Evolution of River Dolphins. *Proc. R. Soc. Lond. B* 268(1466): 549-556.
- Harley, H. 2008. Whistle discrimination and categorization by the Atlantic bottlenose dolphin (*Tursiops truncatus*): A review of the signature whistle framework and a perceptual test. *Behav. Proc.* 77:243-268.
- Herman, L.M. & W.N. Tavolga. 1980. The communication systems of cetaceans. En: Herman, L.M. (ed.), pp. 149-209. Cetacean Behaviour: Mechanisms and Functions. Nueva York: Wiley (Interscience). 463 pp.
- Herzing, D. 2005. Context, gender, and age-specific vocalization and correlated underwater behavior in free-ranging dolphins. Kyoto Conference. Delphinid and Primate Social Ecology: A comparative discussion. 29-30 julio 2005, Kyoto, Japón.
- Houser, S., J. Finneran, D. Carder, W. Van Bonn, C. Smith, C. Hoh, R. Mattrey & S. Ridgway. 2004. Structural and functional imaging of bottlenose dolphin (*Tursiops truncatus*) cranial anatomy. *J. Exp. Biol.* 207:3657-3665.
- Itakura, F. 1975. Minimum prediction residual principle applied to speech recognition. *IEEE Trans. Acoust. Speech Signal Proc.* 23:67-72.
- Janik, V.M. 1999. Pitfalls in the categorization of behaviour: a comparison of dolphin whistle classification methods. *Anim. Behav.* 57(1):133-143.
- Janik, V.M. 2000. Source levels and the estimated active space of bottlenose dolphin (*Tursiops truncatus*) whistles in the Moray Firth, Scotland. *J. Comp. Physiol. A* 186(7-8):673-680.

- Janik, V.M. 2009. Acoustic Communication in Delphinids. En: Naguib, M. & V.M. Janik (eds.), pp. 123-157. Advances in the Study of Behavior, Vol. 40. Burlington: Academic Press.
- Janik, V.M. & P.J.B. Slater. 1998. Context-specific use suggests that bottlenose dolphin signature whistles are cohesion calls. *Anim. Behav.* 56(4):829-838.
- Janik, V.M. & P.J.B. Slater. 2000. The different roles of social learning in vocal Communications. *Anim. Behav.* 60(1):1-11.
- Janik, V.M., G. Dehnhardt & D. Todt. 1994. Signature whistle variations in a bottlenosed dolphin, *Tursiops truncatus*. *Behav. Ecol. Sociobiol.* 35(4):243-248.
- Janik, V.M., L.S. Sayigh & R.S. Wells. 2006. Signature whistle shape conveys identity information to bottlenose dolphins. *Proc. Nat. Acad. Sci.* 103(21):8293-8297.
- Jefferson, T.A., S. Leatherwood & M.A. Webber. 1993. Marine mammals of the world. Roma: FAO. 320 pp.
- Johnson, C. S. 1967. Sound Detection Thresholds in Marine Mammals. En: Tavorla, W. (ed.), pp. 247-260. Marine Bio-Acoustics. Nueva York: Pergamon Press.
- Johnson, D.H. & D.E. Dudgeon. 1993. Array Signal Processing: Concepts and Techniques. Chapter 4 Beamforming, pp. 111-198. Englewood Cliffs: Prentice Hall. 533 pp.
- Jones, G.J. & L.S. Sayigh. 2002. Geographic variation in rates of vocal production of free-ranging bottlenose dolphins. *Mar. Mammal Sci.* 18(2):374-393.
- Jouventin, P., T. Aubin & T. Lengagne. 1999. Finding a parent in a king penguin colony: the acoustic system of individual recognition. *Anim. Behav.* 57(6):1175-1183.
- Kay, S.M. 1988. Modern Spectral Estimation: Theory and application. Englewood Cliffs: Prentice May. 543 pp.
- Ketten, D.R. & D. Wartzok. 1990 Three-dimensional reconstructions of the dolphin ear. En: Thomas, J. & R. Kastelein (eds.), pp. 81-105. Sensory Abilities of Cetaceans: Field and Laboratory Evidence, NATO ASI Ser. A Life Sci., vol. 196, Nueva York: Plenum Press.
- Ketten, D.R. 1994. Functional Analyses of Whale Ears: Adaptations for Underwater Hearing. *IEEE Underwat. Acoust.* 1:264-270
- Knudsen, E.I., S.D. Esterly & S. du Lac. 1991. Stretched and upside-down maps of auditory space in the optic tectum of blind-reared owls; acoustic basis and behavioral correlates. *J. Neurosci.* 11:1727-1747.
- Kuhn, K.F. 1996. Basic Physics: A Self-Teaching Guide. Nueva York, Wiley. 301 pp.
- Lammers, M.O., D.L. Herzing & W.W.L. Au. 2003. The broadband social acoustic signal behavior of spinner and spotted dolphins. *J. Acoust. Soc. Am.* 114(3):1629-1639.
- Leatherwood, S. & R.R. Reeves. 1990. The bottlenose dolphin. San Diego: Academic Press. 653 pp.
- Lilly, J.C. 1963. Distress call of the bottlenose dolphin: stimuli and evoked behavioral responses. *Science* 139:116-118.
- López Hernández, I. 2002. Interacción de las toninas *Tursiops truncatus* con las actividades pesqueras del estado de Tabasco. Tesis Maestría en Ciencias (Biología de Sistemas y Recursos Acuáticos), Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México, México, D.F. 84pp.

- Malone, B.J., B.H.Scott & M.N. Semple. 2002. Context-dependent adaptive coding of interaural phase disparity in the auditory cortex of awake macaques. *J. Neurosci.* 22:4625–4638.
- Markov, V.I. & V.M. Ostrovskaya. 1990. Organization of communication system in *Tursiops truncatus* Montague. En: Thomas, J. & R. Kastelein (eds.), pp. 599-622. Sensory Abilities of Cetaceans: Field and Laboratory Evidence, NATO ASI Ser. A Life Sci., vol. 196, Nueva York:Plenum Press. <http://www.dauphinlibre.be/markovhtm.pdf>
- Martin, P. & P. Bateson. 2004. Measuring behaviour. An introductory guide. 2a ed. Cambridge: Cambridge University Press. 222 pp.
- May-Collado, L.J., I. Agnarsson & D. Wartzok. 2007. Phylogenetic review of tonal sound production in whales in relation to sociality. *BMC Evol. Biol.* 7:136.
- McCowan, B. 1995. A new quantitative technique for categorizing whistles using simulated signals and whistles from captive adult bottlenose dolphins (Delphinidae, *Tursiops truncatus*). *Ethology* 100(3):177-193.
- McCowan, B. & D. Reiss. 1995a. Quantitative comparison of whistle repertoires from captive adult bottlenose dolphins (Delphinidae, *Tursiops truncatus*): a re-evaluation of the signature whistle hypothesis. *Ethology* 100(3):194-209.
- McCowan, B. & D. Reiss. 1995b. Whistle contour development in captive-born infant bottlenose dolphins (*Tursiops truncatus*): role of learning. *J. Comp. Psychol.* 109(3):242-260.
- McCowan, B. & D. Reiss. 2001. The fallacy of „signature whistles’ in bottlenose dolphins: a comparative perspective of „signature information’ in animal vocalizations. *Anim. Behav.* 62(6):1151-1162.
- McCowan, B., D. Reiss & C. Gubbins. 1998. Social familiarity influences whistle acoustic structure in adult female bottlenose dolphins (*Tursiops truncatus*). *Aquat. Mamm.* 24(1):27-40.
- McCowan, B., S.F. Hanser & L.R. Doyle. 1999. Quantitative tools for comparing animal communication systems: information theory applied to bottlenose dolphin whistle repertoires. *Anim. Behav.* 57(2):409-419.
- McCowan, B., L. Doyle, & S. Hanser. 2002. Using Information Theory to Assess the Diversity, Complexity, and Development of Communicative Repertoires. *J. Comp. Psychol.* 116(2):166-172.
- Medwin, H. 1975. Speed of sound in water: A simple equation for realistic parameters. *J. Acoust. Soc. Am.* 58(6):1318-1319.
- Mellinger, D.K. 2002. Ishmael 1.0 User’s Guide. NOAA Technical Memorandum OAR PMEL-120. Available from <http://www.pmel.noaa.gov/pubs/PDF/mell2434/mell2434.pdf>. 26 pp.
- Mellinger, D.K., K.M. Stafford, S.E. Moore, R.P. Dzjak & H. Matsumoto. 2007. An Overview of Fixed Passive Acoustic Observation Methods for Cetaceans. *Oceanography* 20(4):36-45.
- Miller, P.J.O. 2006. Diversity in sound pressure levels and estimated active space of resident killer whale vocalizations. *J. Comp. Physiol. A* 192:449-459.

- Miller, P.J. & P.L. Tyack. 1998. A small towed beamforming array to identify vocalizing resident killer whales (*Orcinus orca*) concurrent with focal behavioral observations. *Deep-Sea Research II* 45(7):1389-1405.
- Morisaka, T. 2005. Evolution of toothed whale tonal sounds: implications for the odontocete social evolution. Kyoto Conference. Delphinid and Primate Social Ecology: A comparative discussion. 29-30 julio 2005, Kyoto, Japón.
- Morisaka, T. & R.C. Connor. 2007. Predation by killer whales (*Orcinus orca*) and the evolution of whistle loss and narrow-band high frequency clicks in odontocetes. *J. Compilation* 20:1439-1458.
- Müller, M., H. Boutiere, A. Weaver & N. Candelon. 1998. Ethogram of bottlenose dolphin (*Tursiops truncatus*) with special reference to solitary and sociable dolphins. *Vie Milieu* 48(2):89-104.
- Nikaido, M., F. Matsuno, H. Hamilton, R. Brownell Jr., Y. Cao, W. Ding, Z. Zuoyan, A. Shedlock, R. Fordyce, M. Hasegawa, N. Okada. 2001. Phylogenetic relationships among cetartiodactyls based on insertions of short DNA. *Proc. Nat. Acad. Sci.* 98: 7384-7389.
- Northridge, S.P. & R.J. Hofman. 1999. Marine mammal interactions with fisheries. En: Twiss Jr., J.R. & R.R. Reeves (eds.), pp. 99-119. Conservation and management of marine mammals. Washington: Smithsonian Institution Press. 471 pp.
- Nowacek, D. 2005. Acoustic ecology of foraging bottlenose dolphins (*Tursiops truncatus*), habitat-specific use of three sound types. *Mar. Mamm. Sci.* 21(4):587-602.
- Oswald J.N., J. Barlow & T.F. Norris. 2003. Acoustic identification of nine delphinid species in the eastern tropical Pacific ocean. *Mar. Mamm. Sci.* 19(1):20-37.
- Oswald, J.N., S. Rankin, J. Barlow & M. O. Lammers. 2007. A tool for real-time acoustic species identification of delphinid whistles. *J. Acoust. Soc. Am.* 122(1):587-595.
- Payne, R.S. 1971. Acoustic location of prey by barn owls (*Tyto alba*). *J. Exp. Biol.* 54:535-573.
- Ralston, J.V. & L.M. Herman. 1989. Dolphin auditory perception. En: Dooling, J.R. & S.H. Hulse (eds.), pp. 295-328. The comparative psychology of audition: Perceiving complex sounds. Hillsdale: Lawrence Erlbaum Associates.
- Reeves, R.R., B.S. Stewart, P.J. Clapham, J.A. Powell & P. Folkens. 2002. National Audubon Society Guide to Marine Mammals of the World. Nueva York: Chanticleer Press & Knopf. 527pp.
- Reynolds, J.E. III & R.S. Wells. 2003. Dolphins, Whales, and Manatees of Florida: A Guide to Sharing Their World. Gainesville: University Press of Florida. 148 pp.
- Rice, D.W. 1983. Cetaceans. En: Anderson, S. & J. Knox Jones (eds), pp. 447-490. Orders and families of recent mammals of the world. Nueva York: Wiley (Interscience).
- Ridgway, S.H. & D.A. Carder. 1997. Hearing deficits measured in some *Tursiops truncatus* and discovery of a deaf/mute dolphin. *J. Acoust. Soc. Am.* 101(1):590-593.
- Ridgway, S.H., D.A. Carder, T. Kamolnick, R.R. Smith, C.E. Schlundt & W.R. Elsberry. 2001. Hearing and whistling in the deep sea: depth influences whistle spectra but does not attenuate hearing by white whales (*Delphinapterus leucas*) (Odontoceti, Cetacea). *J. Exp. Biol.* 204:3829-3841.

- Riesch, R., J.K.B. Ford & F. Thomsen. 2006. Stability and group specificity of stereotyped whistles in resident killer whales, *Orcinus orca*, off British Columbia. *Anim. Behav.* 78:1485–1486.
- Rodionov, V.A. 2001. Anatomy of the supracranial air cavities in the Bottlenose dolphin *Tursiops truncatus* (Cetacea) as related to problems of mathematical modeling. *Doklady Biol. Sci.* 381:547-550.
- Samaran, F., O. Adam, J.-F. Motsch, Y. Cansi, G. Ruzié & C. Guinet. 2008. Acoustic localization of two distinct blue whale (*Balaenoptera musculus*) subspecies in the South-West Indian Ocean. *J. Acoust. Soc. Am.* 123(5):3363.
- Sayigh, L.S., P.L. Tyack, R.S. Wells & M.D. Scott. 1990. Signature whistles of free-ranging bottlenose dolphins. *Behav. Ecol. Sociobiol.* 26(4):247-260.
- Sayigh, L.S., P.L. Tyack & R.S. Wells. 1999. Individual recognition in wild bottlenose dolphins: a field test using playback experiments. *Anim. Behav.* 57(1):41-50.
- Sayigh, L.S., H.C. Esch, R.S. Wells & V.M. Janik. 2007. Facts about signature whistles of bottlenose dolphins, *Tursiops truncatus*. *Anim. Behav.* 74:1631-1642.
- Schlundt, C., J. Finneran, B. Branstetter, R. Dear, D. Houser & E. Hernandez. 2008. Evoked potential and behavioral hearing thresholds in nine bottlenose dolphins (*Tursiops truncatus*). *J. Acoust. Soc. Am.* 123(5):3363.
- Searby, A., P. Jouventin & T. Aubin. 2004. Acoustic recognition in macaroni penguins: an original signature system. *Anim. Behav.* 67(4):615-625.
- Shannon, C. 1948. A mathematical theory of communication. *Bell Syst. Techn. J.* 27:379-423, 623-656.
- Shyan, M.R. 2002. Effects of Pool Size on Free-Choice Selections by Atlantic Bottlenosed Dolphins at One Zoo Facility. *J. Appl. Animal Welfare Sci.* 5(3):215–225.
- Slater, P.J.B. 2003. Fifty years of bird song research: a case study in animal behaviour. *Anim. Behav.* 65(4):633-639.
- Smolker, R. & J.W. Pepper. 1999. Whistle convergence among allied male bottlenose dolphins (Delphinidae: *Tursiops* sp.). *Ethology* 105:595-618.
- Smolker, R.A., J. Mann & B.B. Smuts. 1993. Use of signature whistles during separations and reunions by wild bottlenose dolphin mothers and infants. *Behav. Ecol. Sociobiol.* 33(6):393-402.
- Soberón, J. & J. Llorente. 1993. The Use of Species Accumulation Functions for the Prediction of Species Richness. *Conserv. Biol.* 7:480-488.
- Solntseva, G.N. & V.A. Rodionov. 2007. Structural and functional organization of sound generation and sound perception organs in dolphins. *Doklady Biol. Sci.* 417:476-479.
- Soltis, J. 2009. What do animal signals do? *Anim. Behav.* 78:1485–1486.
- Sousa-Lima R., A.P. Paglia & G.A.B. da Fonseca. 2002. Signature information and individual recognition in the isolation calls of Amazonian manatees, *Trichechus inunguis* (Mammalia: Sirenia). *Anim. Behav.* 63(4):301-310.
- Takemoto, H., S. Adachi, T. Kitamura, P. Mokhtari & K. Honda J. 2006. Acoustic roles of the laryngeal cavity in vocal tract resonance. *J. Acoust. Soc. Am.* 120(5):2228

- Terry, A.M.R., T.M. Peake & P.K. McGregor. 2005. The role of vocal individuality in conservation. *Frontiers Zool.* 2:10.
- Thode, A., T. Norris & J. Barlow. 2000. Frequency beamforming of dolphin whistles using a sparse three-element towed array. *J. Acoust. Soc. Am.* 107(6):3581-3584.
- Thomas, R.E. 2001. Relating behavioral context to acoustic parameters of bottlenose dolphin *Tursiops truncatus* vocalizations. Tesis Doctoral, Massachusetts Institute of Technology & the Woods Hole Oceanographic Institution, Cambridge, EE.UU. 220 pp.
- Thomas, R.E., K.M. Fristrup & P.L. Tyack. 2002. Linking the sounds of dolphins to their locations and behavior using video and multichannel acoustic recordings. *J. Acoust. Soc. Am.* 112(4):1692-1701.
- Thompson, R.K.R. & L.M. Herman. 1975. Underwater frequency discrimination in the bottlenosed dolphin (1-140 kHz). *J. Acoust. Soc. Am.* 57(4):943-948.
- Thomsen, F., D. Franck & J.K.B. Ford. 2002. On the communicative significance of whistles in wild killer whales (*Orcinus orca*). *Naturwissenschaften* 89: 404-407.
- Trone, M., S. Kuczaj & M. Solangi. 2005. Does participation in Dolphin-Human Interaction Programs affect bottlenose dolphin behaviour? *Appl. Animal Behav. Sci.* 93:363-374.
- Tyack, P.L. 1986. Whistle repertoires of two bottlenose dolphins, *Tursiops truncatus*: mimicry of signature whistles? *Behav. Ecol. Sociobiol.* 18(4):251-257.
- Tyack, P.L. 2000. Dolphin whistle a signature tone. *Science.* 289(4):1310-1311.
- Tyack, P. 2002. Functional aspects of Cetacean communication. En: Mann, J., R. Connor, P. Tyack & H. Whitehead (eds.), pp. 270-307. Cetacean Societies: Field Studies of Dolphins and Whales. Chicago: University of Chicago Press. 433 pp.
- van Bergeijk W.A., J.R. Pierce & E.E. David. 1962. Las ondas y el oído. Buenos Aires: EUDEBA. Pp. 66-104.
- Vaughan, T. 1986. Cetáceos. En: T. Vaughan (ed.), pp 231-248. Mamíferos. México: Interamericana.
- Watwood, S.L., P.L. Tyack & R.S. Wells. 2004. Whistle sharing in paired male bottlenose dolphins, *Tursiops truncatus*. *Behav. Ecol. Sociobiol.* 55(6):531-543.
- Watwood, S.L., E.C. Owen, P.L. Tyack & R.S. Wells. 2005. Signature whistles use by temporary restrained and free-swimming bottlenose dolphins, *Tursiops truncatus*. *Anim. Behav.* 69(6):1373-1386.
- Wells, R.S. 1991. The role of long-term study in understanding the social structure of a bottlenose community. En: Pryor, K. & K.S. Norris (eds), pp. 199-225. Dolphin societies: discoveries and puzzles. Berkeley: University of California Press. 397 pp.
- Wells, R.S., H.L. Rhinehart, L.J. Hansen., J.C. Sweeney, F.I. Townsend, R. Stone, D.R. Casper, M.D. Scott, A.A. Hohn & T.K. Rowles. 2004. Bottlenose dolphins as marine ecosystem sentinels: developing a health monitoring system. *EcoHealth* 1(3):246-254.
- Witten, I., J. F. Bergan & E. I. Knudsen. 2006. Dynamic shifts in the owl's auditory space map predict moving sound location. *Nature Neurosci.* 9(11):1439-1445.
- Zar, J.H. 1999. Biostatistical analysis. Englewood Cliffs: Prentice-Hall. 620 pp.
- Zaslavski, G. 2008. The auditory time resolution in bottlenose dolphins: behavioral experiments versus auditory evoked potential methods. *J. Acoust. Soc. Am.* 123(5):3363.

Apéndice I. Clasificación automatizada de silbidos: extractor de contornos “Beluga” y red neuronal “ARTwarp”

Los silbidos se clasificaron de manera automatizada utilizando subrutinas de programación en lenguaje Matlab. Primero se utilizó la subrutina denominada “Beluga” para obtener el contorno del silbido que se encontraba en un archivo de formato *.wav, es decir, para “extraer” el contorno del silbido. Con esta subrutina se generó un archivo *.ctr que contenía el contorno de cada silbido. Posteriormente, una colección de archivos *.ctr de todos los silbidos que se querían categorizar se utilizaba con la subrutina denominada “ARTwarp” para obtener el número de tipos de silbidos que conformaban el repertorio automatizada de estos silbidos seleccionados (Deecke & Janik, 2006).

AI.1. Operación del extractor de contornos “Beluga”

Los archivos de sonido con formato *.wav que contenían un solo silbido debían tener únicamente un canal para poder ser leídos por la subrutina “Beluga”. Entonces, se creó un archivo de sonido para cada silbido que contuviera un solo canal, el canal en el cual el silbido era de mejor calidad, es decir, con mejor relación señal-ruido.

La subrutina denominada “Beluga” extrae el contorno de un silbido al determinar cuál es la intensidad máxima dentro de un cuadro seleccionado en el espectrograma del silbido. La duración del cuadro seleccionado depende de la tasa de muestreo de las grabaciones. Para cada intensidad máxima la subrutina determina cuál es la frecuencia y tiempo a la que ocurre y escribe estos tres datos en un archivo con formato *.ctr. El conjunto de datos en el archivo con formato *.ctr de todos los cuadros seleccionados en el espectrograma representa el contorno del silbido analizado.

Todos los archivos de beluga y la carpeta “Utilities” se deben guardar en la carpeta C:\Matlab\Tools\ dentro de una carpeta (p. ej., “beluga”) y los archivos de sonido *.wav en la carpeta que se desee. Posteriormente, se debe dar de alta el directorio “C:\Matlab\Tools\beluga” en la sección “File: set path”. Entonces, ya es posible ejecutar la subrutina “Beluga” en Matlab al escribir:

```
>>beluga
```

Una vez iniciado “Beluga”, se carga un archivo de sonido *.wav en la sección “File: Load Sound”, o usando el atajo “Ctrl&O”, y se calcula el espectrograma en la sección “Analysis: Calculate Spectrogram: Open the sound file ... (nombre del archivo)...” , o usando el atajo “Ctrl&G”, escogiendo los parámetros que se deseen (en este estudio se utilizó una ventana Hamming con 512 puntos y 50% de traslape).

En la pantalla del espectrograma se debe seleccionar el contorno a extraer teniendo cuidado de marcar adecuadamente tanto el inicio como el final del silbido. Si no se marcan correctamente el inicio y final del silbido se obtendrá un contorno que en realidad no existe (Fig. A1). Una vez seleccionado el silbido se extrae el contorno en la sección “Analysis: Extract Frequency Contour”, o usando el atajo “Ctrl&X”, el cual se despliega como una línea roja encima del espectrograma. Si el contorno mostrado no es satisfactorio para algunas partes del silbido, éste se puede editar hasta obtener el contorno deseado con la sección “Analysis: Edit Frequency Contour”, o usando el atajo “Ctrl&E”. Una vez que se obtiene el contorno deseado, éste se guarda en la sección “Save” utilizando el nombre del archivo *.wav con el que se produjo, pero con la extensión .ctr.

En algunas ocasiones, la intensidad de la frecuencia fundamental resultó ser menor que la del 2° armónico y no fue posible trazar el contorno de la frecuencia fundamental del silbido. Entonces, se extrajo el contorno del 2° armónico y se dividieron las frecuencias obtenidas entre dos para obtener el contorno de la frecuencia fundamental. Para realizar este cálculo se usaron los siguientes comandos:

```
>>Load [el nombre del archivo con el contorno del 2° armónico] - mat
```

```
fcontour = fcontour/2; % fcontour/3 si es el tercer armónico
```

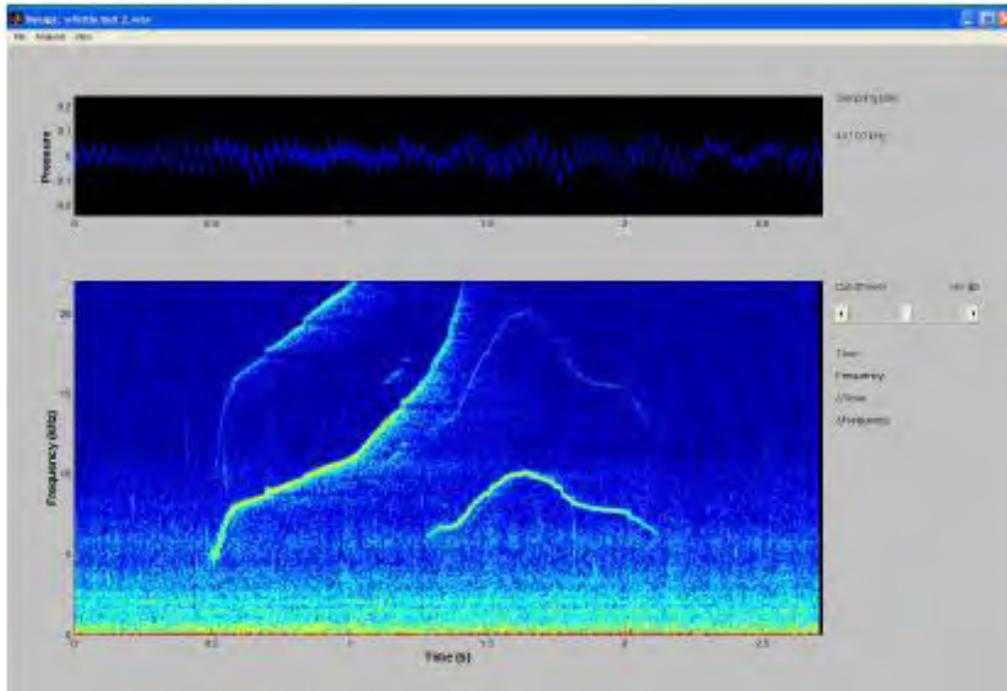
```
plot(fcontour); % el graficar el contorno es opcional.
```

Con esta nueva variable “fcontour” se generó el archivo con la extensión .ctr que contenía el contorno de la frecuencia fundamental del silbido.

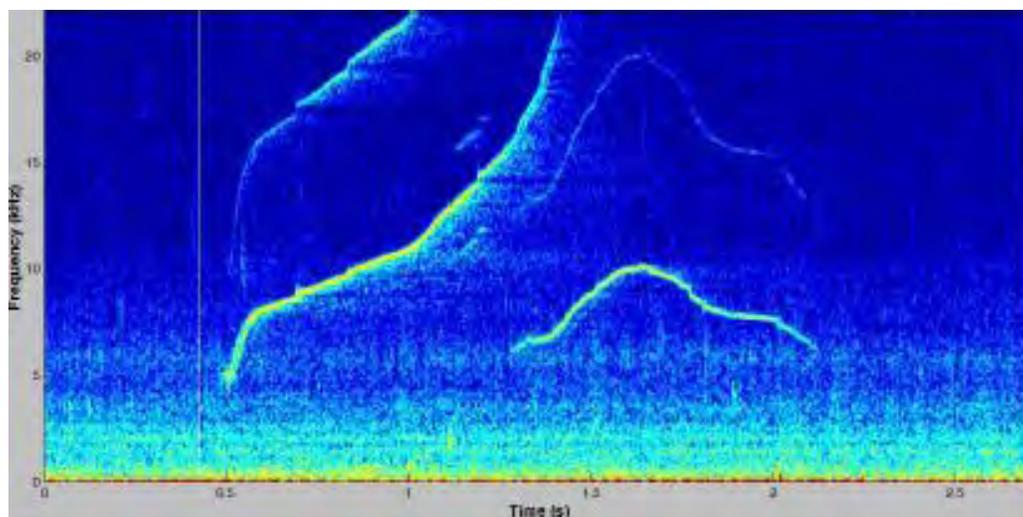
A continuación se anexa el instructivo en inglés para usar “Beluga” con silbidos de delfines, elaborado por el autor de esta subrutina en lenguaje Matlab (Deecke & Janik, 2006).

INSTRUCTIONS FOR USING BELUGA FOR CONTOUR EXTRACTION

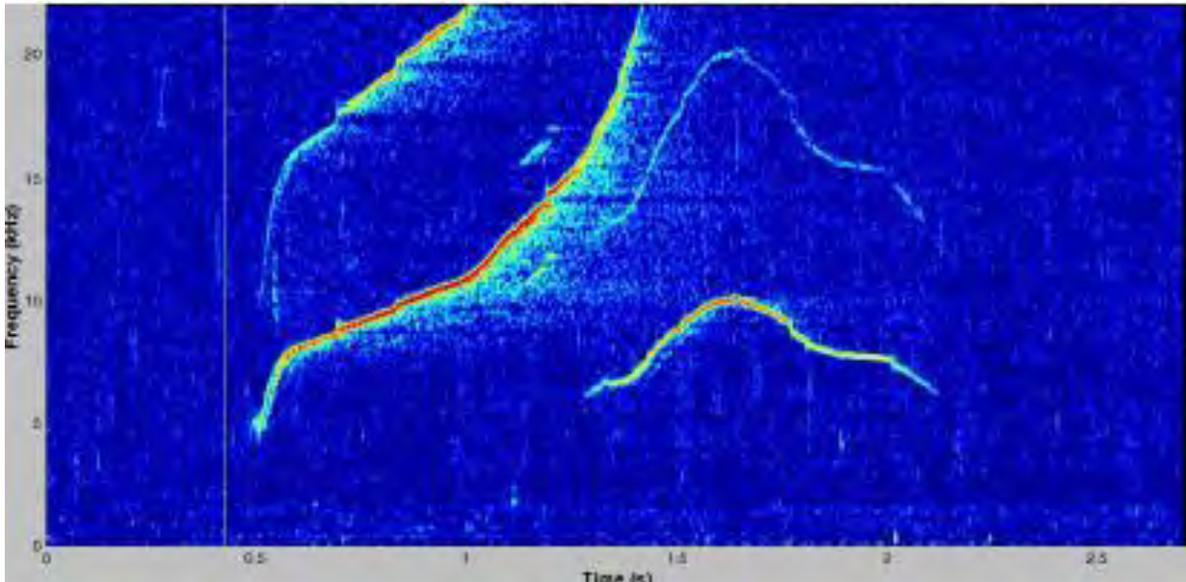
1. Open the sound file (File-> load Sound or ctrl&O).
2. Generate a spectrogram (Analysis -> Calculate Spectrogram or ctrl&G). If the sound file is very long, you can first select a section of the wave-form (by dragging your pointer over it). This will only generate the spectrogram for the selected section. I usually use an FFT length of 2048, frame length of 512 and 87% overlap between frames, but you may find that other parameter combinations work better.



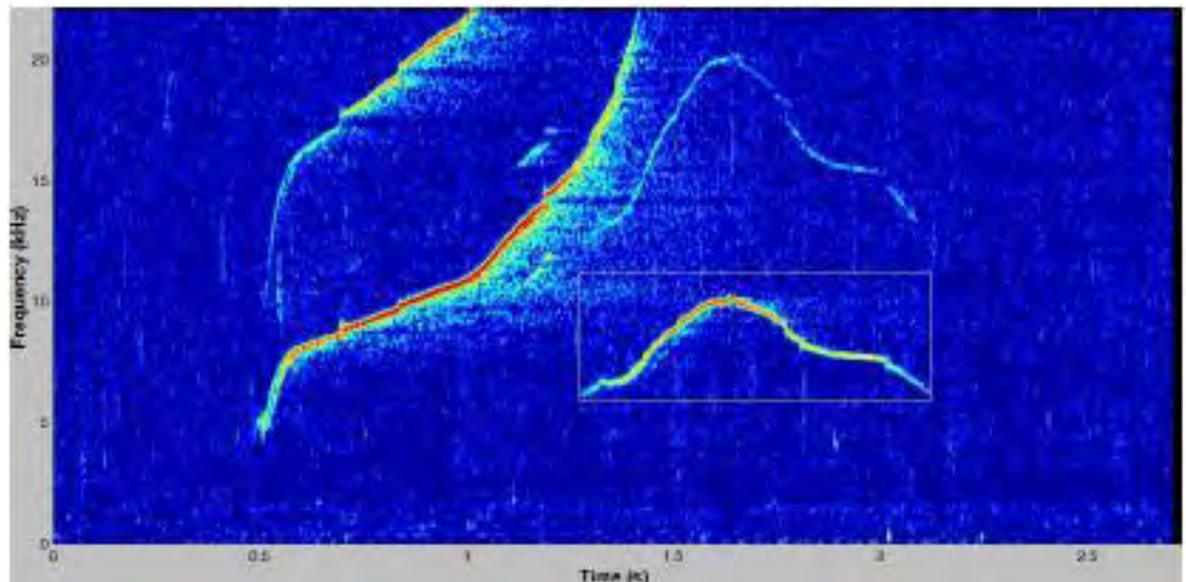
3. If your recordings are noisy, you can filter the selection. To do this, select all of the spectrogram containing whistles. Leave a section of the spectrogram containing only background noise at the beginning of the spectrogram unselected.



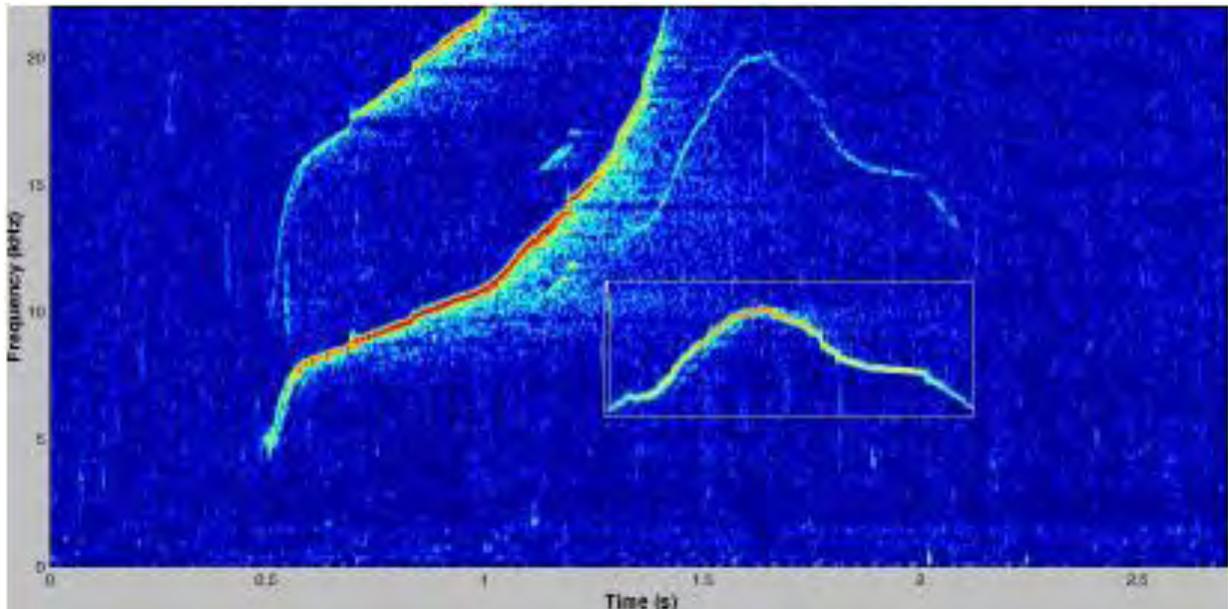
4. Then choose `Analysis -> Filter Selection` (or `ctrl&F`). This calculates an average noise spectrum from the part of the spectrogram before the selection and subtracts it from each spectrum in the spectrogram.



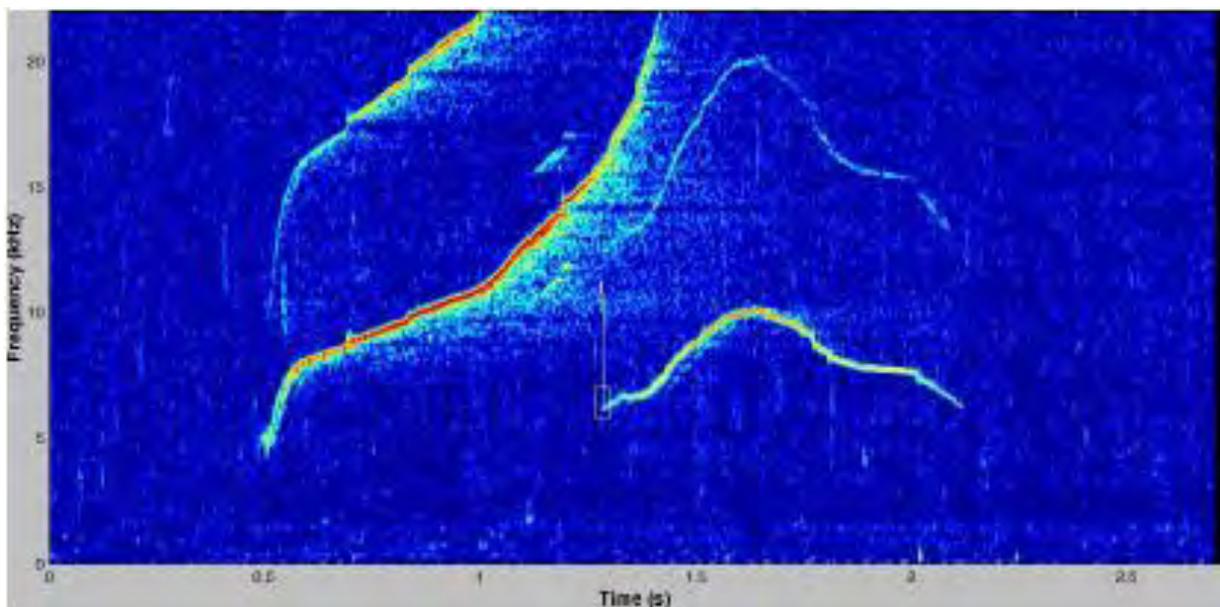
5. Select the part of the filtered spectrogram from which you'd like to extract the whistle contour



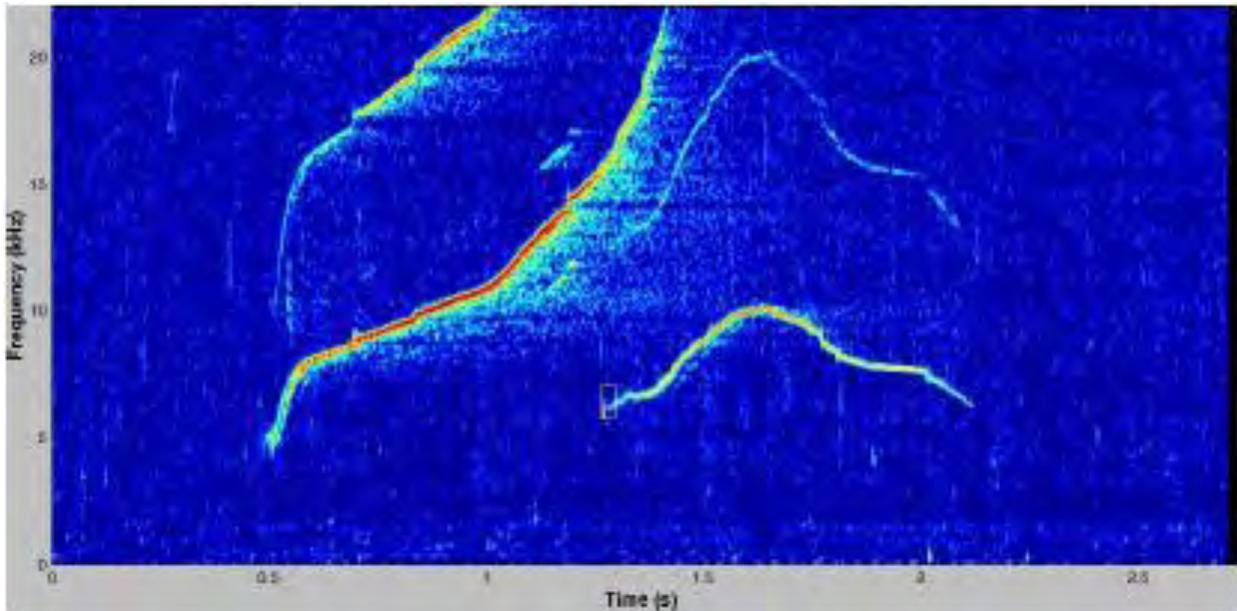
6. To extract the contour choose `Analysis -> Extract Frequency Contour (or ctrl&X)`. This extracts a frequency contour between the time points given by your selection and using the upper and lower border of your selection as upper and lower frequencies. The extraction methods 'peaks' and 'cepstrum' should work for whistles ('sidewinder' is only for sounds with strong harmonic content). Unclick 'Include harmonics'.



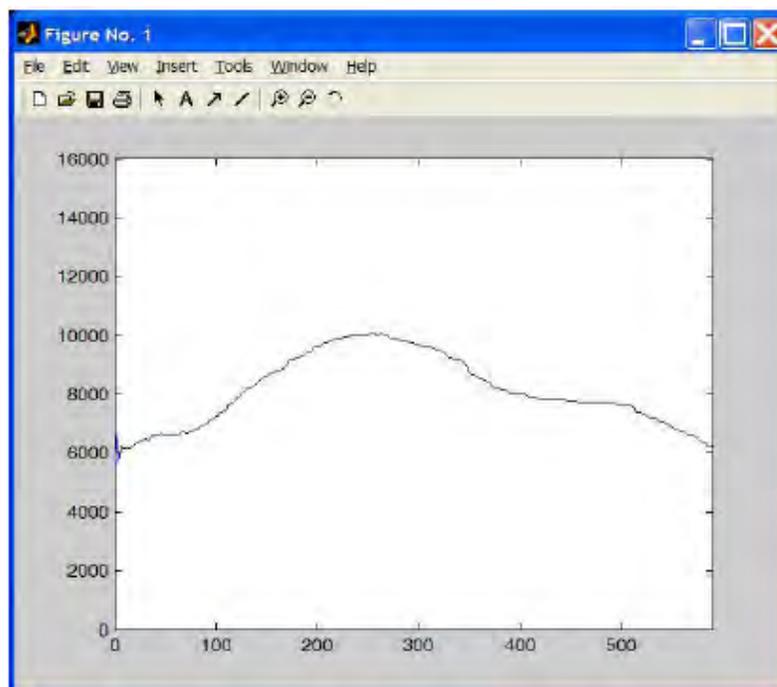
7. If you feel the algorithm goofed up in sections of your whistles, you can manually fix these by selection the trouble area (usually choosing narrower frequency boundaries)



8. Selecting Analysis -> Edit Frequency Contour (ctrl&E) recalculates the section using the narrower frequency boundaries.



9. Save the contour (File -> Save Contour or ctrl&S). This will save the contour to a MATLAB formatted file using your original name for the sound file with the extension `.ctr` instead of `.wav`. Load this file using the command `load [filename] -mat`. It contains the frequency contour in the variable `fcontour`. The last number in the frequency contour is the length of the contour (in seconds).



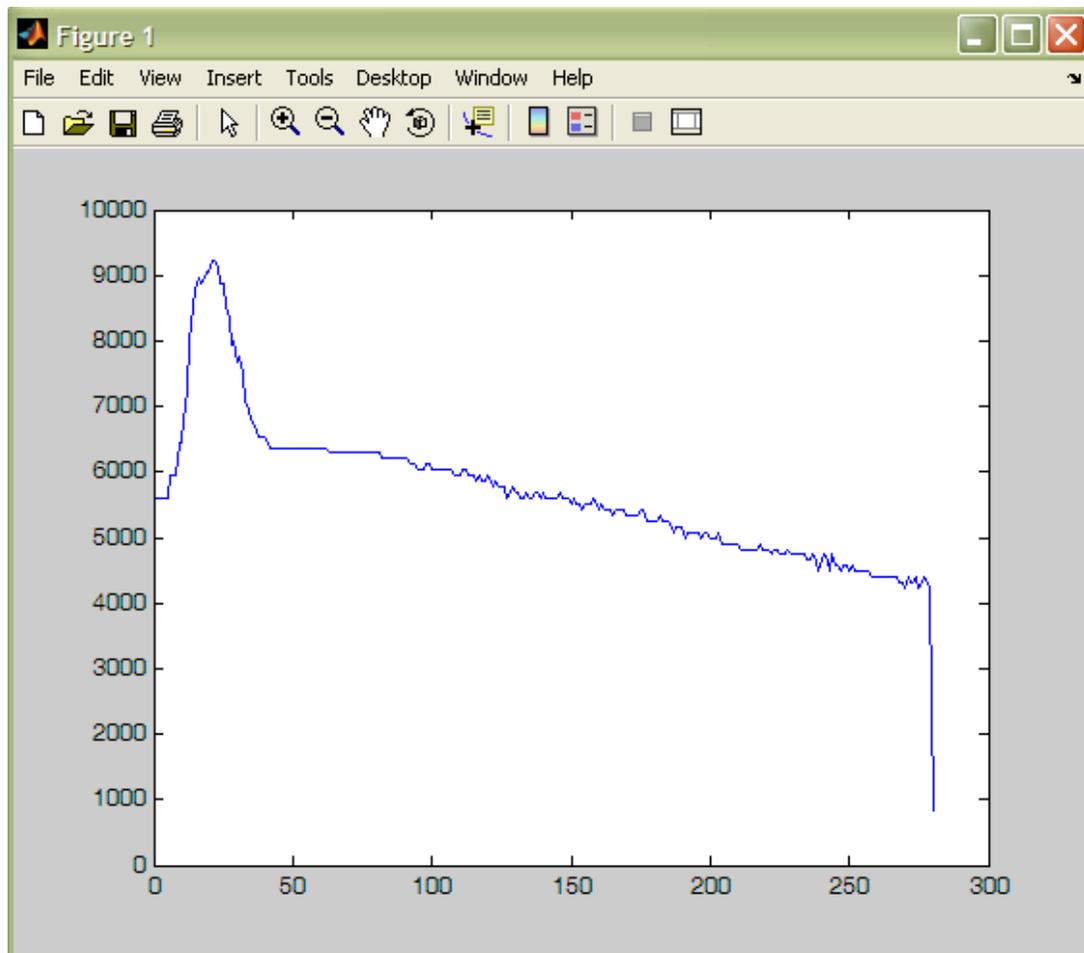


Fig. A1. Pantalla de despliegue de la subrutina “Beluga” en la que se muestra un contorno de silbido falso que se obtiene cuando no se selecciona adecuadamente el final del silbido.

AI.2. Operación de la red neuronal “ARTwarp”

La subrutina denominada “ARTwarp” emplea una red neuronal (Deecke *et al.*, 1999; Deeke & Janik, 2006) que incorpora el algoritmo de flexibilidad dinámica en el tiempo (*dynamic time-warping* en inglés; Itakura, 1975) para obtener el número de tipos de silbidos que conformaban el repertorio. Esta subrutina clasifica los distintos contornos en tipos de acuerdo a una medida de similitud.

Todos los archivos *.ctr de los contornos que se quieren clasificar se deben guardar en la carpeta C:\Matlab\Work\. Entonces, ya es posible ejecutar la subrutina “ARTwarp” en Matlab al escribir:

```
>>ARTwarp
```

Con esta instrucción, se toman los archivos *.ctr y se comparan uno a uno con los patrones que se va creando (“neuronas”) de acuerdo a la similitud preestablecida (“vigilancia”). Al principio, cuando no se tiene ningún neurón, se comparan dos archivos *.ctr y se determina si son o no similares. Si son similares, se crea un neurón. Si son diferentes, se crean dos neuronas. Entonces, ya se cuenta con neuronas para comparar el resto de los archivos *.ctr. Al comparar cada nuevo archivo *.ctr, éste puede ser clasificado como alguno de los neuronas ya existentes o como un neurón nuevo. Una vez que se han comparado todos los archivos *.ctr y se obtiene un número determinado de patrones o neuronas, se comienza nuevamente a realizar la comparación de los archivos *.ctr contra los neuronas, es decir, comienza la segunda iteración. Se realizan un mínimo de dos iteraciones, por lo que si la segunda vez que se comparan los archivos *.ctr contra los neuronas no cambia algún neurón, se despliegan los neuronas calculados y éstos corresponden, cada uno, a una categoría o tipo de silbido.

Para obtener las características de cada categoría se usa el siguiente comando:

```
>> s = find([DATA.category] ==1)
```

con el cual se enlistan una serie de números que corresponden al orden de los archivos contenidos en la carpeta C:\Matlab\Work\ como sigue:

```
>> s = find([DATA.category] ==1)

s =

     2     5     7     8     9    10    11    12

>> s = find([DATA.category] ==2)

s =

     6    13

>> s = find([DATA.category] ==3)

s =

     1     3     4
```

Para saber de qué archivo se trata se usa el siguiente comando para mostrar el nombre del archivo:

```
>> DATA(1).name
```

y se obtiene lo siguiente:

```
>> DATA (1).name

ans =

061211H0285Cxc155La.ctr

>> DATA (3).name

ans =

061211H0289Cxc510L.ctr

>> DATA (4).name

ans =

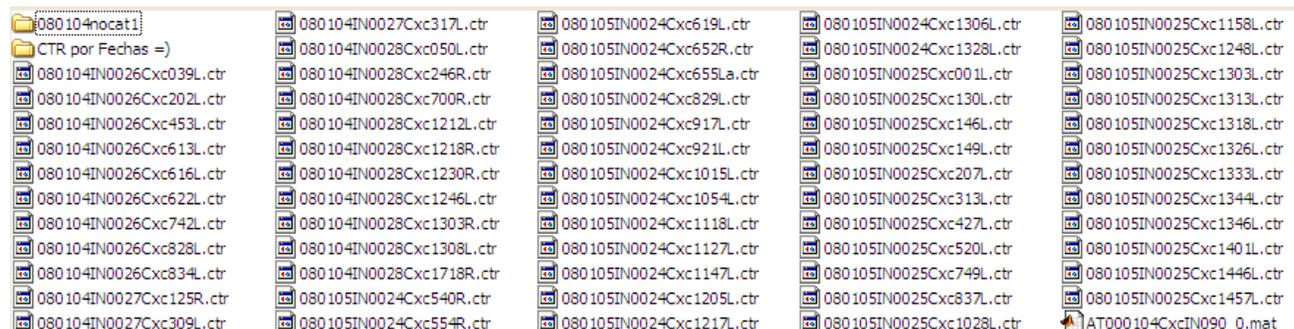
061211HT0285Cxc2x155Ra.ctr
```

Para modificar el valor de similitud es necesario modificar el archivo *.m de ARTWarp. En este estudio se empleó un 90% de similitud para establecer el número de categorías automatizadas de silbidos. Para cuantificar la estereotipia de los silbidos adjudicados a un delfín, este valor de 90% se fue aumentando en números enteros a partir de 90 hasta obtener dos categorías diferentes. Entonces, se regresaba al valor entero anterior en el que todavía se obtenía una categoría y se comenzaba a incrementar el valor en decimales. La precisión utilizada para la estereotipia fue de únicamente un decimal.

A continuación se da un ejemplo de cómo se calculó la estereotipia de una serie de silbidos:

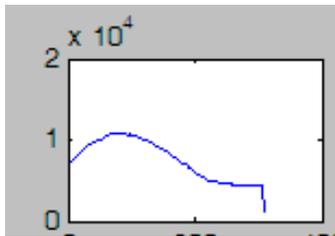
1) Se seleccionaron 70 silbidos Cxc del delfinario 2: “Atlantis” del día 04 de enero de 2008

VIGILANCIA	N	Iteraciones	Categorías
90	70	3	5



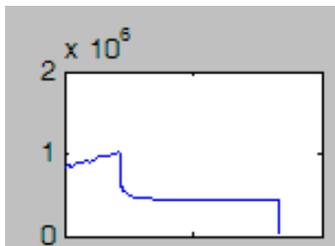
2) Se obtienen cinco categorías, mostrando los silbidos que pertenecen a cada categoría (el número de silbido desplegado corresponde al orden en que los archivos *.ctr estaban almacenados en la carpeta C:\Matlab\Work\).

Categoría 1



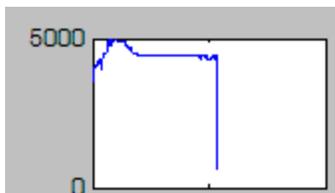
1	2	3	5	6	7	9	11	12
13	14	15	16	18	20	21	22	23
24	25	26	27	29	30	31	32	33
34	35	36	37	38	39	40	41	42
45	46	47	48	49	50	51	52	53
54	55	56	57	58	59	60	61	62
63	64	65	66	67	68	69	70	

Categoría 2



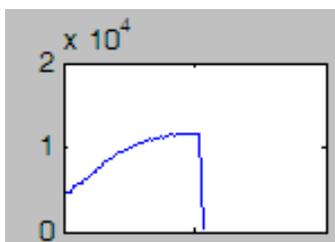
10 19

Categoría 3



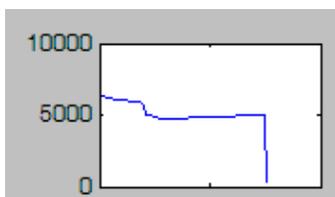
44

Categoría 4



43

Categoría 5



4 8 17 28