



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

---

## FACULTAD DE CIENCIAS

COMPORTAMIENTO ACÚSTICO DE TURSIONES (*Tursiops truncatus*) EN CAUTIVERIO: COMPARACIÓN ENTRE DOS ACUARIOS

# T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

**BIÓLOGA**

P R E S E N T A:

**EDITH JULIETA SARMIENTO PONCE**

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

2011





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.

## **AGRADECIMIENTOS**

Mis más sinceros agradecimientos a las siguientes personas:

**A mis papis** por ser los mejores papas del mundo, por brindarme su apoyo y amor incondicional, por siempre creer en mí y por sus sabias y valiosas enseñanzas. Los adoro.

**A mis hermanas Jessy y Joanny** por ser tan especiales para mí, brindarme su maravillosa compañía y por ser las mejores hermanas del mundo. Las quiero mucho hermanitas.

**A mi abuelita Lupita** por ser tan bella y por ser un gran ejemplo a seguir. Te adoro abuelita.

**A mis tíos, tías, primos y primas** por su gran apoyo y por su excelente compañía. Los quiero.

**A Javier** por ser el mejor novio del universo, por su infinito amor, apoyo, comprensión, confianza y por regalarme los mejores años de toda mi vida. Te amo con todo mí ser.

**A mis suegritos** por ser los mejores suegritos del mundo, por permitirme disfrutar de su magnífica compañía y por ser siempre tan adorables conmigo. Los quiero mucho.

**A Toñito** por ser un fantástico cuñado.

**A la Dra. María del Carmen Bazúa Durán** por su brillante y admirable asesoría, y por brindarme su amable, permanente y continuo apoyo a lo largo del presente estudio. Le estoy infinitamente agradecida, fue un gran honor trabajar con usted.

**A la Dra. Rebeca María López Rivas** por su grandioso apoyo y sabias enseñanzas sobre los mamíferos marinos y por permitirme adentrarme en el maravilloso mundo de los mamíferos marinos. Muchísimas gracias Miss Rebe.

**Al Dr. Luis Medrano González** por compartir sus sabios conocimientos sobre los mamíferos marinos, por su magnífico apoyo y por sus valiosos comentarios sobre el presente manuscrito.

**A la Dra. Gloria Portales** por sus amables y valiosos comentarios sobre el presente trabajo y por brindarme su inmenso apoyo y sabiduría.

**A la Dra. Patricia Fuentes** por sus valiosos comentarios que enriquecieron este estudio y por su excelente y amable disposición siempre.

**Al M. en C. Alejandro Villarreal** por su excelente y amable disposición en la revisión del presente manuscrito y por sus valiosos comentarios que enriquecieron el presente estudio.

**A la Dra. Rosaura Mayen y a la Dra. Margarita Hermoso** por su grandioso apoyo y amable disposición siempre.

**A mis amigos del cubículo**, Dianita, Ale, Brendis, Danny, Andrés, Natalia, Leslie y al Sr. Hernán por su fabulosa amistad y por los excelentes momentos que compartimos en nuestro estimado cubículo 408. Los quiero mucho.

**A mis amigos de la Riviera Maya**, Vane, Marianita, Lizzie, Adri, Ángel, Santi, Charly e Iván por brindarme su magnífica y admirable amistad, su gran apoyo y por todos los extraordinarios momentos que hemos compartido. Los quiero mucho.

**A Sandra Smith, a Hiram y a la Profesora María de Jesús** por compartir y transmitir su fascinación y amor por los mamíferos marinos y por sus excelentes enseñanzas.

**Al Dr. Volker Deecke y al Dr. Vincent Janik** por su gran ayuda y excelente asesoría en el empleo de la subrutina de MATLAB "ARTwarp".

**Al Dr. Gnone Guido y al Dr. Lyamin** por la valiosa y trascendental información aportada al presente estudio.

**A los Profesores del Museo de Paleobiología**, Dra. Sarita, Dr. Francisco, Dr. Pedro, Itzi, Leo, Daniel, por su excepcional e inmenso apoyo desde que ingresé a la Carrera de Biología y por su magnífica amistad. Muchísimas gracias.

**Al Profesor César Zepeda** por permitirme el honor de transmitir los conocimientos que he adquirido a los alumnos de la Licenciatura de Biología y por su gran disposición y excelente apoyo.

**Al Dr. Humberto Arce y a la Dra. Lucía Medina del Departamento de Física** por su gran ayuda y excelentes consejos.

**A todos mis profesores, compañeros y amigos** que conocí a lo largo de la Carrera, muchas gracias por compartir conmigo sus importantes enseñanzas, por su gran compañía y por su fabulosa amistad.

**A todo el Personal Académico y Administrativo** que conforman a la prodigiosa Facultad de Ciencias, UNAM, muchas gracias por su excepcional, grandioso y cordial servicio.

**Al PAPIIT-UNAM** por el financiamiento de los proyectos IN-105006-3 e IN-120609-3 otorgados por la Dra. María del Carmen Bazúa Durán para la realización del presente estudio, así como por la beca otorgada.

**A la SOMEMMA 2010** por el apoyo otorgado para la asistencia a la XXXII Reunión Internacional para el Estudio de los Mamíferos Marinos.

**Gracias a Dios y a la Virgen de Guadalupe**

# ÍNDICE

AGRADECIMIENTOS .....	II
ÍNDICE .....	IV
ÍNDICE DE TABLAS .....	VII
ÍNDICE DE FIGURAS .....	XI
RESUMEN .....	XV
<b>1. INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>1</b>
<b>1.1. Biología de la especie .....</b>	<b>3</b>
1.1.1. Taxonomía .....	3
1.1.2. Fisonomía y fisiología .....	5
1.1.3. Distribución geográfica y abundancia .....	7
1.1.4. Historia de vida .....	8
1.1.4.1. <i>Madurez sexual, reproducción y periodo de gestación</i> ..	8
1.1.4.2. <i>Lactancia y cuidado parental</i> .....	9
1.1.4.3. <i>Longevidad, mortandad y depredadores</i> .....	9
1.1.4.4. <i>Desplazamiento diario y migraciones</i> .....	10
1.1.4.5. <i>Actividades conductuales</i> .....	10
1.1.5. Ecología .....	11
1.1.5.1. <i>Hábitat</i> .....	11
1.1.5.2. <i>Alimentación</i> .....	11
1.1.5.3. <i>Tamaño y composición de la manada</i> .....	12
1.1.5.4. <i>Asociaciones intra e interespecíficas</i> .....	12
1.1.6. Interacción con humanos y cautiverio .....	12
<b>1.2. Generalidades de acústica .....</b>	<b>13</b>
<b>1.3. Bioacústica en tursiones .....</b>	<b>16</b>
1.3.1. Sistema de audición .....	16
1.3.2. Producción de fonaciones .....	22
1.3.2.1. <i>Tipos y utilidad de las fonaciones</i> .....	22
1.3.2.2. <i>Mecanismos de producción</i> .....	23
1.3.3. Estudios de los silbidos producidos por los tursiones .....	25

<b>2. ANTECEDENTES</b> .....	<b>27</b>
<b>3. OBJETIVOS</b> .....	<b>30</b>
<b>3.1. General</b> .....	<b>30</b>
<b>3.2. Particulares</b> .....	<b>30</b>
<b>4. MÉTODOS</b> .....	<b>30</b>
<b>4.1. Trabajo de campo</b> .....	<b>30</b>
<b>4.2. Análisis de datos</b> .....	<b>33</b>
4.2.1. Selección de silbidos .....	34
4.2.2. Ocurrencia de silbidos .....	35
4.2.3. Caracterización del repertorio de silbidos .....	39
4.2.3.1. <i>Extracción del contorno de los silbidos</i> .....	39
4.2.3.2. <i>Obtención del repertorio de silbidos</i> .....	42
4.2.3.3. <i>Análisis del repertorio de silbidos</i> .....	46
4.2.4. Uso del repertorio de silbidos .....	52
4.2.4.1. <i>Análisis del uso del repertorio de silbidos</i> .....	52
4.2.4.2. <i>Índice de riqueza del uso del repertorio de silbidos</i> .....	52
<b>5. RESULTADOS</b> .....	<b>54</b>
<b>5.1. Ocurrencia de silbidos</b> .....	<b>54</b>
5.1.1. Acuario Six Flags .....	54
5.1.2. Acuario Atlantis .....	63
5.1.3. Comparación entre ambos acuarios .....	67
5.1.4. Acuarios en conjunto .....	68
<b>5.2. Repertorio de silbidos</b> .....	<b>70</b>
5.2.1. Acuario Six Flags .....	70
5.2.2. Acuario Atlantis .....	76
5.2.3. Comparación entre ambos acuarios .....	80
5.2.4. Acuarios en conjunto .....	88
<b>5.3. Uso del repertorio de silbidos</b> .....	<b>96</b>
5.3.1. Acuario Six Flags .....	96
5.3.2. Acuario Atlantis .....	97
5.3.3. Comparación entre ambos acuarios .....	101

5.3.4. Acuarios en conjunto .....	107
<b>6. DISCUSIÓN DE RESULTADOS .....</b>	<b>109</b>
<b>6.1. Acuario Six Flags .....</b>	<b>109</b>
<b>6.2. Acuario Atlantis .....</b>	<b>113</b>
<b>6.3. Comparación entre ambos acuarios .....</b>	<b>118</b>
<b>6.4. Acuarios en conjunto .....</b>	<b>122</b>
<b>6.5. Operación de la subrutina “ARTwarp” .....</b>	<b>124</b>
<b>7. CONCLUSIONES .....</b>	<b>125</b>
<b>8. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>127</b>
<b>APÉNDICE I. MANUAL DE INSTALACIÓN DE LAS SUBROUTINAS DE MATLAB: “BELUGA” Y</b>	
<b>“ARTWARP” .....</b>	<b>132</b>
<b>I.1. INSTALACIÓN DE LA SUBROUTINA DE MATLAB “BELUGA” .....</b>	<b>132</b>
<b>I.2. INSTALACIÓN DE LA SUBROUTINA DE MATLAB “ARTWARP” .....</b>	<b>134</b>

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>TABLA 1.</b>	Clasificación taxonómica de la especie <i>Tursiops truncatus</i> Montagu, 1821.	<b>5</b>
<b>TABLA 2.</b>	Hora registrada en la bitácora y en el sitio web Weather Underground en la que oscureció y amaneció en cada acuario en los ciclos de 24 horas.	<b>32</b>
<b>TABLA 3.</b>	Esquematación de los datos registrados en la bitácora durante el muestreo del ciclo de 24 horas para cada uno de los acuarios.	<b>32</b>
<b>TABLA 4.</b>	Ejemplo de algunos de los datos ingresados en una hoja de datos del programa de cómputo Excel para obtener el histograma de ocurrencia de silbidos (número de silbidos en cada minuto dentro del ciclo de 24 horas) en los Acuarios Six Flags y Atlantis.	<b>36</b>
<b>TABLA 5.</b>	Valores de $\lambda$ o PPCC (coeficiente de correlación de la probabilidad gráfica, por sus siglas en inglés) obtenidos con el programa de cómputo PAST. Estos valores determinan el tipo de distribución que presentan los datos.	<b>38</b>
<b>TABLA 6.</b>	Ejemplificación visual de la conversión de los archivos con formato .wav en un formato .ctr mediante la subrutina "Beluga" de MATLAB versión 6.5 mostrando las pantallas con el espectrograma de los archivos con formato .wav y del contorno del silbido con un formato .ctr.	<b>42</b>
<b>TABLA 7.</b>	Ejemplos de los contornos de silbidos utilizados en cada uno de los bloques utilizados para la obtención del repertorio de silbidos de los acuarios en conjunto.	<b>44</b>
<b>TABLA 8.</b>	Categorías generales visualmente semejantes: silbidos complejos con gran modulación, silbidos complejos con poca modulación, silbidos simples con modulación lineal larga y silbidos simples con modulación lineal corta.	<b>50</b>
<b>TABLA 9.</b>	Peso asignado a cada categoría general de modulación para calcular el valor de complejidad del repertorio de silbidos.	<b>51</b>
<b>TABLA 10.</b>	Ejemplificación del cálculo del valor de complejidad.	<b>51</b>
<b>TABLA 11.</b>	Hora del día durante el ciclo de 24 horas a la que fueron emitidos los silbidos en el Acuario Six Flags, mostrando el número de silbidos y el número de minuto de los 1440 minutos en el que se emitieron los silbidos.	<b>56</b>
<b>TABLA 12.</b>	Estadísticos descriptivos (promedio, desviación estándar, valor mínimo y valor máximo) y el PPCC (coeficiente de correlación de la probabilidad gráfica, por sus siglas en inglés) del número de silbidos en cada minuto (tasa de emisión) emitidos tanto en el Acuario Six Flags como en el Acuario Atlantis durante el ciclo de 24 horas, durante los periodos diurno y nocturno, durante los periodos de mayor emisión de silbidos y para los acuarios en conjunto.	<b>57</b>



<b>TABLA 13.</b>	Resultados de la prueba estadística U de Mann-Whitney para la comparación del número de silbidos en cada minuto emitidos durante los periodos diurno y nocturno y durante el ciclo de 24 horas en ambos acuarios, durante el periodo diurno y el periodo nocturno en cada uno de los acuarios, durante los periodos diurno y nocturno en cada uno de los acuarios y durante los periodos diurno y nocturno en ambos acuarios en conjunto. Los números subrayados indican que existieron diferencias significativas a $P \leq 0.05$ .	<b>59</b>
<b>TABLA 14.</b>	Estadísticos descriptivos (promedio, desviación estándar, valor mínimo y valor máximo) y el PPCC (coeficiente de correlación de la probabilidad gráfica, por sus siglas en inglés) del número de minutos que contenían un cierto número de silbidos emitidos tanto en el Acuario Six Flags como en el Acuario Atlantis durante el ciclo de 24 horas, durante los periodos diurno y nocturno y para los acuarios en conjunto.	<b>62</b>
<b>TABLA 15.</b>	Resultados de la prueba estadística U de Mann-Whitney para la comparación del número de minutos que contenían un cierto número de silbidos emitidos durante los periodos diurno y nocturno y durante el ciclo de 24 horas en ambos acuarios, durante el periodo diurno y el periodo nocturno en cada uno de los acuarios y durante los periodos diurnos y nocturnos en ambos acuarios en conjunto. Los números subrayados indican que existieron diferencias significativas a $P \leq 0.05$ .	<b>62</b>
<b>TABLA 16.</b>	Hora del día durante el ciclo de 24 horas a la que fueron emitidos los silbidos en el Acuario Atlantis, mostrando el número de silbidos y el número de minuto de los 112 minutos en el que se emitieron los silbidos.	<b>64</b>
<b>TABLA 17.</b>	Número de tipos de silbidos (tamaño del repertorio de silbidos), número de silbidos, variabilidad proporcional (número de tipos de silbidos entre el número de silbidos) y valor de complejidad para los silbidos emitidos en los Acuarios Six Flags y Atlantis y para los acuarios en conjunto. d=periodo diurno, n=periodo nocturno, SF=Acuario Six Flags, AT=Acuario Atlantis.	<b>71</b>
<b>TABLA 18.</b>	Espectrogramas de las “neuronas” o tipos de silbidos del repertorio de silbidos de los tursiones del Acuario Six Flags que representan los 38 tipos de silbidos obtenidos con los 277 silbidos emitidos tanto para el ciclo de 24 horas como para el periodo diurno (en el Acuario Six Flags no se emitieron silbidos durante el periodo nocturno). Todos los espectrogramas tienen una duración de 3 s (eje horizontal) y un ancho de banda de 20 kHz (eje vertical).	<b>72</b>
<b>TABLA 19.</b>	Número de tipos de silbidos y número de silbidos para cada una de las cuatro categorías generales de los silbidos emitidos en los Acuarios Six Flags y Atlantis y para los acuarios en conjunto. SF=Acuario Six Flags, AT=Acuario Atlantis.	<b>73</b>
<b>TABLA 20.</b>	Espectrogramas de los tipos de silbidos del repertorio de los tursiones del Acuario Six Flags, que representan los 38 tipos de silbidos obtenidos con los 277 silbidos emitidos mostrados en la Tabla 18, de acuerdo a la categoría general a la que se asignaron. En el Acuario Six Flags los tursiones no silbaron durante el periodo nocturno. Todos los espectrogramas tienen una duración de 3 s (eje horizontal) y un ancho de banda (eje vertical) de 20 kHz.	<b>75</b>

<b>TABLA 21.</b>	Espectrogramas de las “neuronas” o tipos de silbidos del repertorio de silbidos de los tursiones del Acuario Atlantis que representan los 50 tipos de silbidos obtenidos con los 447 silbidos emitidos (358 diurnos y 89 nocturnos). Todos los espectrogramas tienen una duración de 3 s (eje horizontal) y un ancho de banda de 20 kHz (eje vertical). d=periodo diurno, n=periodo nocturno.	<b>77</b>
<b>TABLA 22.</b>	Espectrogramas de los tipos de silbidos del repertorio de los tursiones del Acuario Atlantis, que representan los 50 tipos de silbidos obtenidos con los 477 silbidos emitidos mostrados en la Tabla 21, de acuerdo a la categoría general a la que se asignaron. Todos los espectrogramas tienen una duración de 3 s (eje horizontal) y un ancho de banda (eje vertical) de 20 kHz. d=periodo diurno, n=periodo nocturno.	<b>79</b>
<b>TABLA 23.</b>	Resultados de la prueba $X^2$ de la comparación del número de tipos de silbidos y del número de silbidos de cada una de las cuatro categorías generales de silbidos entre los periodos diurno y nocturno en el Acuario Atlantis y entre acuarios (considerando los ciclos de 24 horas y el periodo diurno) utilizando todos los repertorios de silbidos mostrados en la tabla 17. Los números subrayados indican que existieron diferencias significativas a $P \leq 0.001$ . Los tursiones del Acuario Six Flags no emitieron silbidos durante el periodo nocturno.	<b>81</b>
<b>TABLA 24.</b>	Espectrogramas de los tipos de silbidos del repertorio de los acuarios en conjunto que representan 33 tipos de silbidos obtenidos con 342 silbidos emitidos para los dos ciclos de 24 horas. Todos los espectrogramas tienen una duración de 3 s (eje horizontal) y un ancho de banda de 20 kHz (eje vertical). d=periodo diurno, n=periodo nocturno.	<b>82</b>
<b>TABLA 25.</b>	Espectrogramas de los tipos de silbidos del repertorio de los acuarios en conjunto emitidos exclusivamente por los tursiones del Acuario Six Flags que representan 12 tipos de silbidos obtenidos con 183 silbidos emitidos para el ciclo de 24 horas. Todos los espectrogramas tienen una duración de 3 s (eje horizontal) y un ancho de banda de 20 kHz (eje vertical).	<b>83</b>
<b>TABLA 26.</b>	Espectrogramas de los tipos de silbidos del repertorio de los acuarios en conjunto emitidos exclusivamente por los tursiones del Acuario Atlantis que representan 28 tipos de silbidos obtenidos con 199 silbidos emitidos para el ciclo de 24 horas. Todos los espectrogramas tienen una duración de 3 s (eje horizontal) y un ancho de banda de 20 kHz (eje vertical). d=periodo diurno, n=periodo nocturno.	<b>84</b>
<b>TABLA 27.</b>	Espectrogramas de los tipos de silbidos del repertorio emitidos por los tursiones de los acuarios en conjunto de acuerdo a la categoría general a la que se asignaron y que representan los 73 tipos de silbidos obtenidos con los 724 silbidos emitidos en ambos acuarios durante ambos periodos. Todos los espectrogramas tienen una duración de 3 s (eje horizontal) y un ancho de banda (eje vertical) de 20 kHz. d=periodo diurno, n=periodo nocturno.	<b>86</b>

<b>TABLA 28.</b>	Espectrogramas de los tipos de silbidos del repertorio de los acuarios en conjunto emitidos por los tursiones del Acuario Six Flags que representan los 45 tipos de silbidos obtenidos con 277 silbidos emitidos tanto para el ciclo de 24 horas como para el periodo diurno (en el Acuario Six Flags no se emitieron silbidos durante el periodo nocturno). Todos los espectrogramas tienen una duración de 3 s (eje horizontal) y un ancho de banda de 20 kHz (eje vertical).	<b>89</b>
<b>TABLA 29.</b>	Espectrogramas de los tipos de silbidos del repertorio de los acuarios en conjunto emitidos por los tursiones del Acuario Atlantis que representan 61 tipos de silbidos obtenidos con 447 silbidos emitidos durante el ciclo de 24 horas. Todos los espectrogramas tienen una duración de 3 s (eje horizontal) y un ancho de banda de 20 kHz (eje vertical). d=periodo diurno, n=periodo nocturno.	<b>90</b>
<b>TABLA 30.</b>	Espectrogramas de los tipos de silbidos del repertorio de los tursiones de los acuarios en conjunto que representan los 73 tipos de silbidos obtenidos con los 724 silbidos emitidos (635 diurnos y 89 nocturnos) durante dos ciclos de 24 horas. Todos los espectrogramas tienen una duración de 3 s (eje horizontal) y un ancho de banda de 20 kHz (eje vertical). d=periodo diurno, n=periodo nocturno.	<b>93</b>
<b>TABLA 31.</b>	Espectrogramas de los tipos de silbidos del repertorio emitidos por los tursiones de los acuarios en conjunto de acuerdo a la categoría general a la que se asignaron y que representan los 73 tipos de silbidos obtenidos con los 724 silbidos emitidos durante los periodos diurno y nocturno de dos ciclos de 24 horas. Todos los espectrogramas tienen una duración de 3 s (eje horizontal) y un ancho de banda (eje vertical) de 20 kHz. d=periodo diurno, n=periodo nocturno.	<b>95</b>
<b>TABLA 32.</b>	Número de silbidos emitidos de cada uno de los 38 tipos de silbidos del repertorio del ciclo de 24 horas en el Acuario Six Flags, mostrando el porcentaje correspondiente de los 277 silbidos.	<b>97</b>
<b>TABLA 33.</b>	Índice de riqueza o índice de diversidad de Shannon H' y equitatividad E para los silbidos emitidos en los Acuarios Six Flags y Atlantis y en ambos acuarios en conjunto. N=número de silbidos, S=número de tipos de silbidos, H <sub>max</sub> =valor máximo de H'.	<b>98</b>
<b>TABLA 34.</b>	Número de silbidos emitidos de cada uno de los 50 tipos de silbidos del repertorio del ciclo de 24 horas en el Acuario Atlantis de acuerdo al periodo, mostrando el porcentaje correspondiente de los 447 silbidos.	<b>99</b>
<b>TABLA 35.</b>	Número de silbidos emitidos de cada uno de los repertorios de silbidos de los acuarios en conjunto mostrados en la tabla 17, mostrando el porcentaje correspondiente del número de silbidos de cada repertorio.	<b>102</b>
<b>TABLA 36.</b>	Número de silbidos emitidos de cada uno de los 73 tipos de silbidos del repertorio de los tursiones de los acuarios en conjunto durante dos ciclos de 24 horas de acuerdo al periodo, mostrando el porcentaje correspondiente de los 724 silbidos.	<b>109</b>

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>FIGURA 1.</b>	Características distintivas de los (A.) odontocetos y (B.) los mysticetos.	<b>2</b>
<b>FIGURA 2.</b>	Fisonomía y longitud promedio de (A.) una cría de tursión ( <i>Tursiops truncatus</i> ), (B.) del ecotipo costero y (C.) del ecotipo oceánico.	<b>4</b>
<b>FIGURA 3.</b>	Fisonomía del tursión ( <i>Tursiops truncatus</i> Montagu, 1821).	<b>6</b>
<b>FIGURA 4.</b>	Distribución de la especie <i>Tursiops truncatus</i> en los océanos del mundo.	<b>8</b>
<b>FIGURA 5.</b>	(A.) Zonas de compresión y expansión en las moléculas de aire ocasionadas por la propagación de la energía acústica y (B.) su representación como una onda sinusoidal.	<b>14</b>
<b>FIGURA 6.</b>	Representación gráfica de un silbido de <i>Tursiops truncatus</i> . (A.) Oscilograma. (B.) Espectrograma, el cual es la representación gráfica más utilizada para describir a los silbidos y muestra la frecuencia fundamental ( $F_0$ ) o contorno del silbido y tres armónicos más. (C.) Espectro, el cual se calculó para el intervalo de tiempo mostrado en el recuadro punteado tanto del oscilograma como del espectrograma.	<b>15</b>
<b>FIGURA 7.</b>	Curvas de sensibilidad auditiva (audiogramas) pertenecientes a varias especies de odontocetos en comparación con el humano.	<b>17</b>
<b>FIGURA 8.</b>	Corte transversal y longitudinal de la cabeza de un delfín mostrando la posición de la mandíbula y de los canales grasos laterales. La variación en la densidad de los lípidos se indica con tonos de grises, donde una coloración más oscura indica mayor densidad.	<b>19</b>
<b>FIGURA 9.</b>	Esquema del oído de un odontoceto con vista ventral (sin el hueso timpánico) que ilustra el plexo peribular y los senos peribulares.	<b>20</b>
<b>FIGURA 10.</b>	Bula auditiva derecha de un tursión que muestra el oído medio. El hueso timpánico se muestra en detalle.	<b>21</b>
<b>FIGURA 11.</b>	Corte longitudinal de la cabeza de un tursión que muestra (A.) el espacio nasofaríngeo y señala la posición de los labios fónicos, que es con lo que producen sus fonaciones y (B.) el esquema de la cabeza que muestra el sistema de sacos aéreos y el cráneo modificado por la telescopización.	<b>24</b>
<b>FIGURA 12.</b>	Patrón de direccionalidad de un chasquido (A.) en el plano vertical y (B.) en el plano horizontal.	<b>25</b>
<b>FIGURA 13.</b>	Espectrograma de un silbido de <i>Tursiops truncatus</i> en cautiverio proveniente del Acuario Atlantis grabado a una tasa de muestreo de 96 kHz con 16 bits en una grabadora M-Audio Microtrack modelo 24/96.	<b>27</b>
<b>FIGURA 14.</b>	Fotografías del estanque de los acuarios (A.) Six Flags y (B.) Atlantis con esquemas que indican sus dimensiones, así como las fotografías de los dos tursiones que se albergaban en cada acuario.	<b>31</b>
<b>FIGURA 15.</b>	Proceso realizado para la caracterización de los silbidos tanto para las grabaciones (A.) diurnas como (B.) para las nocturnas.	<b>33</b>

- FIGURA 16.** Clasificación incorrecta realizada con la subrutina “ARTwarp” donde se puede apreciar que la “neurona” o tipo de silbido 18 contiene el archivo .ctr incompleto o dañado. Este archivo ocasionó que la clasificación se detuviera y que los otros contornos de los silbidos promedio se alteraran, desplegándose como una línea recta de frecuencia cero con duración variable. **47**
- FIGURA 17.** Leyenda que aparece en el programa de cómputo MATLAB cuando ya no podía continuar realizando la clasificación de los silbidos con la subrutina “ARTwarp”, indicando el tipo de error ocasionado debido a la presencia de un archivo .ctr incompleto o dañado. **48**
- FIGURA 18.** Ocurrencia de silbidos en el Acuario Six Flags que muestra la hora del día a cada minuto dentro del ciclo de 24 horas. La región sombreada indica las horas sin luz (periodo nocturno). El muestreo comenzó a las 07:28 horas y terminó a las 07:27 horas del día siguiente. **55**
- FIGURA 19.** Gráfica de los estadísticos descriptivos (promedio, desviación estándar, valor mínimo y valor máximo) del número de silbidos en cada minuto emitidos durante (A.) los periodos diurno y nocturno en el Acuario Six Flags, (B.) los periodos diurno y nocturno en el Acuario Atlantis, (C.) el ciclo de 24 horas en ambos acuarios y (D.) los periodos diurno y nocturno en ambos acuarios. **58**
- FIGURA 20.** Histograma del número de minutos que contenían un cierto número de silbidos (A.) durante el periodo diurno y (B.) durante el ciclo de 24 horas en el Acuario Six Flags. Los números mostrados en la parte superior de las barras del histograma son el número de minutos para cada minuto con un cierto número de silbidos. En el Acuario Six Flags no se emitieron silbidos durante el periodo nocturno. **60**
- FIGURA 21.** Gráfica de los estadísticos descriptivos (promedio, desviación estándar, valor mínimo y valor máximo) del número de minutos que contenían un cierto número de silbidos emitidos durante (A.) los periodos diurno y nocturno en el Acuario Six Flags, (B.) los periodos diurno y nocturno en el Acuario Atlantis, (C.) el ciclo de 24 horas en ambos acuarios y (D.) los periodos diurno y nocturno en ambos acuarios. **61**
- FIGURA 22.** Ocurrencia de silbidos en el Acuario Atlantis que muestra la hora del día a cada minuto dentro del ciclo de 24 horas. La región sombreada indica las horas sin luz (periodo nocturno). El muestreo comenzó a las 10:59 horas y terminó a las 10:58 horas del día siguiente. **65**
- FIGURA 23.** Histograma del número de minutos que contenían un cierto número de silbidos (A.) durante el periodo diurno, (B.) durante el periodo nocturno y (C.) durante el ciclo de 24 horas del Acuario Atlantis. Los números mostrados en la parte superior de las barras del histograma son el número de minutos para cada minuto con un cierto número de silbidos. **66**
- FIGURA 24.** Histograma del número de minutos que contenían un cierto número de silbidos (A.) durante el periodo diurno, (B.) durante el periodo nocturno y (C.) durante el ciclo de 24 horas en ambos acuarios. Los números mostrados en la parte superior de las barras del histograma son el número de minutos para cada minuto con un cierto número de silbidos. **69**

- FIGURA 25.** Número de silbidos emitidos de cada uno de los 38 tipos de silbidos del repertorio del ciclo de 24 horas en el Acuario Six Flags (SF), mostrando los espectrogramas de los tres tipos de silbidos más recurrentes. N=277 silbidos. **96**
- FIGURA 26.** Número de silbidos emitidos de cada uno de los 50 tipos de silbidos del repertorio en el Acuario Atlantis (AT) para (A.) el ciclo de 24 horas (N=447 silbidos), para (B.) los periodos diurno (N=358 silbidos) y (C.) nocturno (N=89 silbidos) y para (D.) exclusivamente el periodo diurno (N=167 silbidos), (E.) exclusivamente el periodo nocturno (N=41 silbidos) y (F.) para ambos periodos (N=239 silbidos), mostrando los espectrogramas de los tipos de silbidos más recurrentes. **100**
- FIGURA 27.** Número de silbidos emitidos de cada uno de los 33 tipos de silbidos del repertorio de los acuarios en conjunto para (A.) los dos ciclos de 24 horas (N=342 silbidos), para (B.) los periodos diurnos (N=322 silbidos) y (C.) nocturno (N=20 silbidos) y para (D.) los exclusivos del periodo diurno (N=183 silbidos) y (F.) los de ambos periodos en el Acuario Atlantis (N=159 silbidos), mostrando los espectrogramas de los tipos de silbidos más recurrentes. **103**
- FIGURA 28.** Número de silbidos emitidos de cada uno de los 12 tipos de silbidos exclusivos del repertorio de los acuarios en conjunto para el ciclo de 24 horas en el Acuario Six Flags, mostrando los espectrogramas de los tres tipos de silbidos más recurrentes. N=183 silbidos. **104**
- FIGURA 29** Número de silbidos emitidos de cada uno de los 28 tipos de silbidos exclusivos del repertorio de los acuarios en conjunto para el Acuario Atlantis durante (A.) el ciclo de 24 horas (N=199 silbidos), (B.) el periodo diurno (N=130 silbidos), (C.) el periodo nocturno (N=69 silbidos), (D.) exclusivamente el periodo diurno (N=86 silbidos), (E.) exclusivamente el periodo nocturno (N=39 silbidos) y (F.) ambos periodos (N=74 silbidos), mostrando los espectrogramas de los tipos de silbidos más recurrentes. **105**
- FIGURA 30** Número de silbidos emitidos de cada uno de los 45 tipos de silbidos del repertorio de los acuarios en conjunto para el ciclo de 24 horas en el Acuario Six Flags, mostrando los espectrogramas de los tres tipos de silbidos más recurrentes. N=277 silbidos. **105**
- FIGURA 31** Número de silbidos emitidos de cada uno de los 61 tipos de silbidos del repertorio de los acuarios en conjunto para el Acuario Atlantis durante (A.) el ciclo de 24 horas (N=447 silbidos), los periodos (B.) diurno (N=358 silbidos) y (C.) nocturno (N=89 silbidos), (D.) exclusivamente el periodo diurno (N=215 silbidos), (D.) exclusivamente el periodo nocturno (N=40 silbidos) y (F.) ambos periodos (N=192 silbidos), mostrando los espectrogramas de los tipos de silbidos más recurrentes. **106**
- FIGURA 32** Número de silbidos emitidos de cada uno de los 73 tipos de silbidos del repertorio de los tursiones de los acuarios en conjunto durante (A.) los dos ciclos de 24 horas (N=724 silbidos), (B.) los periodos diurno (N=635 silbidos) y (C.) nocturno (N=89 silbidos) y (D.) exclusivamente el periodo diurno (N=452 silbidos), (D.) exclusivamente el periodo nocturno (N=39 silbidos) y (F.) ambos periodos (N=233 silbidos) , mostrando los espectrogramas de los tipos de silbidos más recurrentes. **108**

<b>FIGURA 33</b>	Tipos de silbidos coincidentes más utilizados en el Acuario Six Flags reportados por dos estudios, el presente estudio y López Rivas (2010). El porcentaje representa la fracción de ese tipo de silbido del total de silbidos analizados en cada estudio.	<b>113</b>
<b>FIGURA 34</b>	Tipos de silbidos coincidentes reportados por dos estudios para el Acuario Atlantis, el presente estudio y López Rivas (2010). El porcentaje representa la fracción de ese tipo de silbido del total de silbidos analizados en cada estudio.	<b>117</b>
<b>FIGURA 35</b>	Vista aérea del Acuario Six Flags y sus alrededores.	<b>119</b>
<b>FIGURA 36</b>	Vista aérea del Acuario Atlantis y sus alrededores.	<b>119</b>

## RESUMEN

El análisis del comportamiento acústico durante ciclos de 24 horas se ha realizado para diversos animales terrestres. Sin embargo, existen escasos estudios de este tipo en animales marinos, ya que la mayoría fueron realizados únicamente durante el periodo diurno. En el presente estudio se analizaron los silbidos grabados con una tasa de muestreo de 88 o 96kHz con 16bits durante un ciclo de 24 horas ante la presencia de cuatro tursiones (*Tursiops truncatus*) ubicados por parejas en dos acuarios en la ciudad de México, el Acuario Six Flags (SF) y el Acuario Atlantis (AT).

En el ciclo de 24 horas se grabaron 277 silbidos en SF y 447 silbidos en AT. Los tursiones de SF emitieron silbidos únicamente durante el día, con una tasa de emisión durante 24 horas de  $0.2 \pm 1.1$  silbidos/min y una tasa de emisión durante el periodo diurno de  $0.3 \pm 1.4$  silbidos/min, y 18.7 horas de silencio continuo (el periodo de silencio constituyó el 94.6% del ciclo de 24 horas). La mayor tasa de emisión de silbidos en SF se dio continuamente de las 08:38 a las 11:20 horas con una tasa de emisión de  $1.7 \pm 2.7$  silbidos/min. Los tursiones de AT emitieron silbidos durante el día y la noche, teniendo una tasa de emisión durante 24 horas de  $0.3 \pm 1.5$  silbidos/min, una tasa de emisión durante el periodo diurno de  $0.4 \pm 1.6$  silbidos/min y una tasa de emisión durante el periodo nocturno de  $0.2 \pm 1.2$  silbidos/min y un periodo de silencio de 9.3 horas (el periodo de silencio constituyó el 92.3% del ciclo de 24 horas). De los silbidos emitidos en AT durante el día se presentaron tres intervalos de gran emisión: uno alrededor de las 11:15 horas con  $6.0 \pm 4.3$  silbidos/min (53.6% de los silbidos del periodo diurno), otro alrededor de las 13:15 horas con  $0.6 \pm 1.1$  silbidos/min (14.2% de los silbidos del periodo diurno) y el último alrededor de las 07:00 horas con  $2.0 \pm 2.2$  silbidos/min (32.2% de los silbidos del periodo diurno). Durante la noche, 85.4% de los silbidos fueron emitidos entre las 01:51 y las 02:05 horas, con una tasa de emisión de  $5.1 \pm 5.4$  silbidos/min. Estadísticamente, la tasa de emisión para ambos acuarios fue diferente para el periodo diurno y nocturno (Prueba U de Mann-Whitney, SF: Z ajustada=7.67,  $P < 0.001$ ; AT: Z ajustada=-5.50,  $P < 0.001$ ) porque los tursiones silbaron más durante el día que durante la noche. Al comparar entre acuarios, la tasa de emisión no fue diferente para el periodo diurno (Z ajustada=-1.23,  $P = 0.22$ ), pero sí lo fue para todo el ciclo de 24 horas y para el periodo nocturno (24 h: Z ajustada=5.50,  $P < 0.001$ ; nocturno: Z ajustada=-4.39,  $P < 0.001$ ) porque los tursiones de AT silbaron durante la noche y los de SF no. En AT ambos tursiones estuvieron activos durante el día y la noche, nadando e interactuando entre ellos (las dos actividades en las cuales la tasa de fonación es alta, López Rivas 2010), mientras que en SF ambos tursiones estuvieron activos solamente durante el día (cuando los tursiones descansan no emiten silbidos, López Rivas 2010). Por lo tanto, la emisión de silbidos de los tursiones en cautiverio de ambos acuarios parece estar relacionada con la actividad de los tursiones (G. Gnone 2010 comun. pers., O.I. Lyamin 2010 comun. pers.) y con el ruido ambiental dentro del acuario (Buckstaff 2004).



El repertorio de silbidos en SF consistió de 38 tipos, siendo proporcionalmente poco variable (variabilidad proporcional=13.7%) y de mediana complejidad (0.57), y en AT consistió de 50 tipos, siendo también proporcionalmente poco variable (variabilidad proporcional: 24h=11.2%, diurno=12.6% y nocturno=24.7%) y de mediana complejidad (24h=0.58, diurno=0.51 y nocturno=0.54). Los tursiones de ambos acuarios emitieron pocos tipos de silbidos de acuerdo al número total de silbidos muestreados. Sin embargo, el repertorio de silbidos en AT durante el periodo nocturno fue proporcionalmente más variable y los tipos de silbidos exclusivos del periodo nocturno fueron más complejos que durante el periodo diurno. Al comparar el repertorio de silbidos de ambos acuarios, se encontró que compartieron 33 tipos de silbidos (73.3% del repertorio para SF y 54.1% para AT) que fueron emitidos durante el día y en la noche sólo en el AT, los cuales también fueron proporcionalmente poco variables, pero de baja complejidad. Entonces, los tipos de silbidos emitidos no dependieron de la hora del día, sino probablemente de la actividad que estaban realizando los tursiones (los tipos de silbidos están relacionados con la actividad que realizan los tursiones, López Rivas 2010). Además, los tursiones de ambos acuarios provenían de dos océanos distintos y nunca han estado en contacto, por lo que se sugiere que el repertorio de silbidos de los tursiones es en su mayoría universal para la especie.

En SF los tres tipos de silbidos más utilizados fueron el 58.5% de los silbidos y fueron más complejos que los siete silbidos más utilizados en AT (40.0% de los silbidos), sugiriendo que los tursiones adultos y con mayor tiempo de convivencia usan frecuentemente menos tipos de silbidos de su repertorio, pero de mayor complejidad.

Este estudio mostró que algunos tursiones silban en la noche y que otros no, que los tursiones comparten la mayoría de los tipos de silbidos de su repertorio, pero que los usan de distinta manera, y que cuando los tursiones silban en la noche, probablemente lleven a cabo actividades similares que durante el día. El presente estudio es el primero, del que se tiene conocimiento, en reportar y describir a detalle la emisión de silbidos durante un ciclo de 24 horas y, específicamente, durante la noche en los tursiones en cautiverio. Por ello, este estudio servirá de fundamento para estudios posteriores del comportamiento acústico de los tursiones en cautiverio y la metodología desarrollada para el estudio de los silbidos también podría ser utilizada por estudios de tursiones silvestres.

**Palabras clave:** *Tursiops truncatus*, comunicación acústica, silbidos, tasa de fonación, delfines en cautiverio, ciclo de 24 horas, día, noche, repertorio

## 1. INTRODUCCIÓN

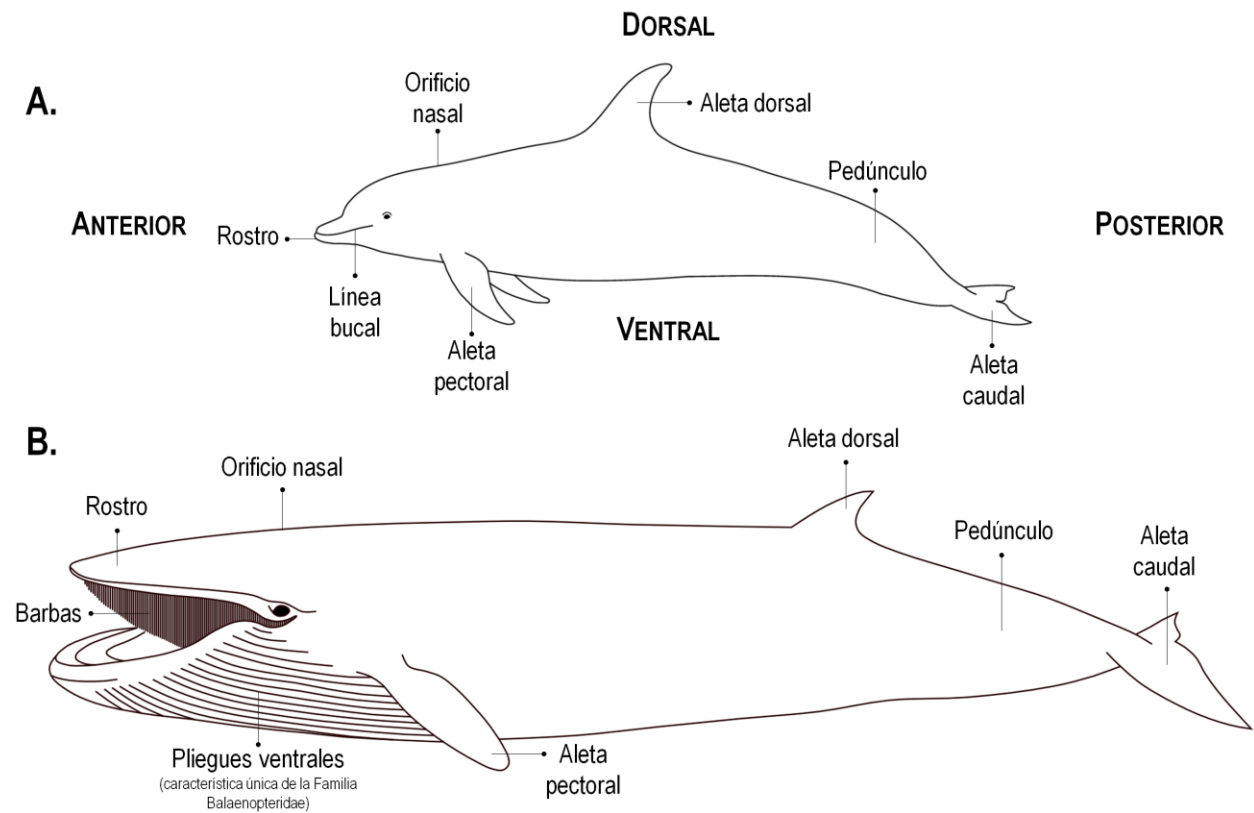
Los mamíferos marinos son animales que evolucionaron independientemente desde el ambiente terrestre hacia el ambiente marino. Estos mamíferos están representados en tres órdenes: Carnivora, Sirenia y Cetacea. Dentro del orden **Carnivora** se encuentran los pinnípedos (focas, lobos marinos y morsas), las nutrias y el oso polar. El orden **Sirenia** está compuesto de los manatíes y los dugongs y el orden **Cetacea** incluye a las ballenas, los delfines y las marsopas y es el orden al que pertenecen la mayoría de las especies de los mamíferos marinos (Jefferson *et al.* 1993, Berta *et al.* 2006, Jefferson *et al.* 2008, Rice 2008). Existen 86 especies de cetáceos en todo el mundo (de acuerdo a las listas taxonómicas de cetáceos presentadas en Jefferson *et al.* 2008 y Perrin *et al.* 2008).

Los cetáceos habitan en los océanos y mares de todo el mundo, desde las zonas tropicales hasta las zonas polares. Algunas especies incluso habitan en aguas continentales tales como lagos o ríos. Los cetáceos varían considerablemente en tamaño, desde la gran ballena azul (*Balaenoptera musculus* Linnaeus, 1758), considerada el animal más grande del mundo con una longitud de aproximadamente 30 m, hasta la diminuta vaquita (*Phocoena sinus* Norris & McFarland, 1958), con una longitud de 1.2-1.5 m (Jefferson *et al.* 1993, Ridgway 1997, Carwardine 2002, Berta *et al.* 2006).

Los cetáceos están subdivididos en dos subórdenes: **Odontoceti** y **Mysticeti**. Odontoceti es el suborden más diverso, con 72 especies, en comparación con las 14 especies del suborden Mysticeti (de acuerdo a las listas taxonómicas de cetáceos presentadas en Jefferson *et al.* 2008 y Perrin *et al.* 2008). Los **odontocetos** (Figura 1 A) son las ballenas dentadas y los delfines que se agrupan en 10 familias: Physteridae (cachalotes), Kogiidae (cachalote pigmeo y cachalote enano), Ziphiidae (zifios), Monodontidae (narval y beluga), Delphinidae (delfines oceánicos y orcas), Platanistidae (delfines de río), Iniidae (boto), Lipotidae (platanista del Yangtze), Pontoporiidae (franciscana) y Phocoenidae (marsopas). El odontoceto más grande es el cachalote (*Physeter macrocephalus* Linnaeus, 1758), con una longitud de 11-18 m, seguido del zifio de Baird (*Berardius bairdii* Stejneger, 1883), con una longitud de 10-13 m, y de la orca (*Orcinus orca* Linnaeus, 1758), con una longitud de 6-10 m. Un gran número de los odontocetos pertenecen a la familia Delphinidae, la cual consta de 32 especies de delfines cuya longitud varía de 1.5-3 m y de cuatro especies de ballenas dentadas de tamaño mediano (la falsa orca, *Pseudorca crassidens* Owen, 1846, que mide entre 4-6 m; los calderones o ballenas piloto, *Globicephala melas* Traill, 1809, que miden entre 4-6 m, y *Globicephala macrorhynchus* Gray 1846, que miden entre 4-7 m, y la orca, *Orcinus orca* Linnaeus, 1758, que mide entre 6-10 m y (Ridgway 1997, Carwardine 2002, Berta *et al.* 2006).

Los **misticetos** (Figura 1 B) son las ballenas verdaderas, quienes carecen de dientes y en su lugar tienen barbas. Las barbas son estructuras laminares córneas y elásticas compuestas de queratina que se localizan en la mandíbula superior y, en algunas especies como la ballena gris, también se encuentran en la inferior; son lisas, flexibles, con

bordes deshilachados, colocadas en dos filas paralelas y semejantes a enormes peines. Son utilizadas por las ballenas barbadas para filtrar su alimento, el cual consiste de: "krill", camarones y zooplancton. Dentro del suborden Mysticeti hay cuatro familias: Balaenidae (ballena franca y ballena de Groenlandia), Neobalaenidae (ballena franca pigmea), Eschrichtiidae (ballena gris) y Balaenopteridae (ballena jorobada, rorcuales y ballena azul) (Ridgway 1997, Carwardine 2002, Perrin *et al.* 2008). Todas las ballenas barbadas, con excepción de las ballenas franca pigmea (*Caperea marginata* Gray, 1846, con longitud entre 5.5-6.5 m) y Minke (*Balaenoptera acutorostrata* Lacepède, 1804, con longitud entre 7-10 m), son más grandes que todas las especies de odontocetos (cuya longitud varía de 1.2-18 m). El cachalote y el zifio de Baird son las dos especies de odontocetos más grandes que las ballenas franca pigmea y Minke.



**Figura 1.** Características distintivas de los (A.) odontocetos y (B.) los mysticetos (modificado de Jefferson *et al.* 1993).

El **origen y evolución** de los cetáceos sigue siendo un tema de gran especulación, pero gracias al registro fósil es posible hacer algunas afirmaciones generales. Evidencia reciente sugiere que, en el Eoceno temprano (hace aproximadamente 53-54 millones de años (m.a.)), los primeros cetáceos experimentaron una transición gradual del ambiente terrestre al ambiente marino (Gingerich *et al.* 1983, Berta *et al.* 2006). Después de habitar por un periodo

en los mares epicontinentales poco profundos y las lagunas, los primeros cetáceos colonizaron las zonas costeras y oceánicas, posiblemente como resultado de la alta productividad ocasionada por la surgencia en los ecosistemas marinos. Esta alta productividad en los ecosistemas marinos de esa época se atribuye a un aumento en la abundancia de diatoméas, posiblemente producido por el aumento en la biodisponibilidad de sílice y otros nutrientes en las zonas oceánicas del sur y en las zonas costeras de todo el mundo a través de las surgencias y mezcla de aguas profundas provenientes de la Antártica. De hecho, puede ser que estos patrones de surgencia oceánica constituyeran un factor importante en la radiación adaptativa de los cetáceos durante el Eoceno, Oligoceno (38-26 m.a.) y Mioceno (26-7 m.a.) (Morris 1986, Marx & Uhen 2010).

Los misticetos parecen haber divergido de los odontocetos a principios del Mioceno hacia 26 m.a. Sin embargo, esta separación pudo haber ocurrido incluso en el Oligoceno. Durante el Oligoceno tardío hacia 28 m.a. ocurrió la separación de la primera familia de odontocetos, la familia Physteridae, mientras que las familias Ziphiidae, Platanistidae, Pontoporiidae, Monodontidae, Iniidae, Delphinidae y Kogiidae se convirtieron en grupos distintos durante el Mioceno. La separación de la última familia de odontocetos, Lipotidae, se produjo durante el Plioceno temprano hacia 5 m.a.. El género *Tursiops* también aparece por primera vez en el registro fósil en el Plioceno temprano (Carwardine 2002).

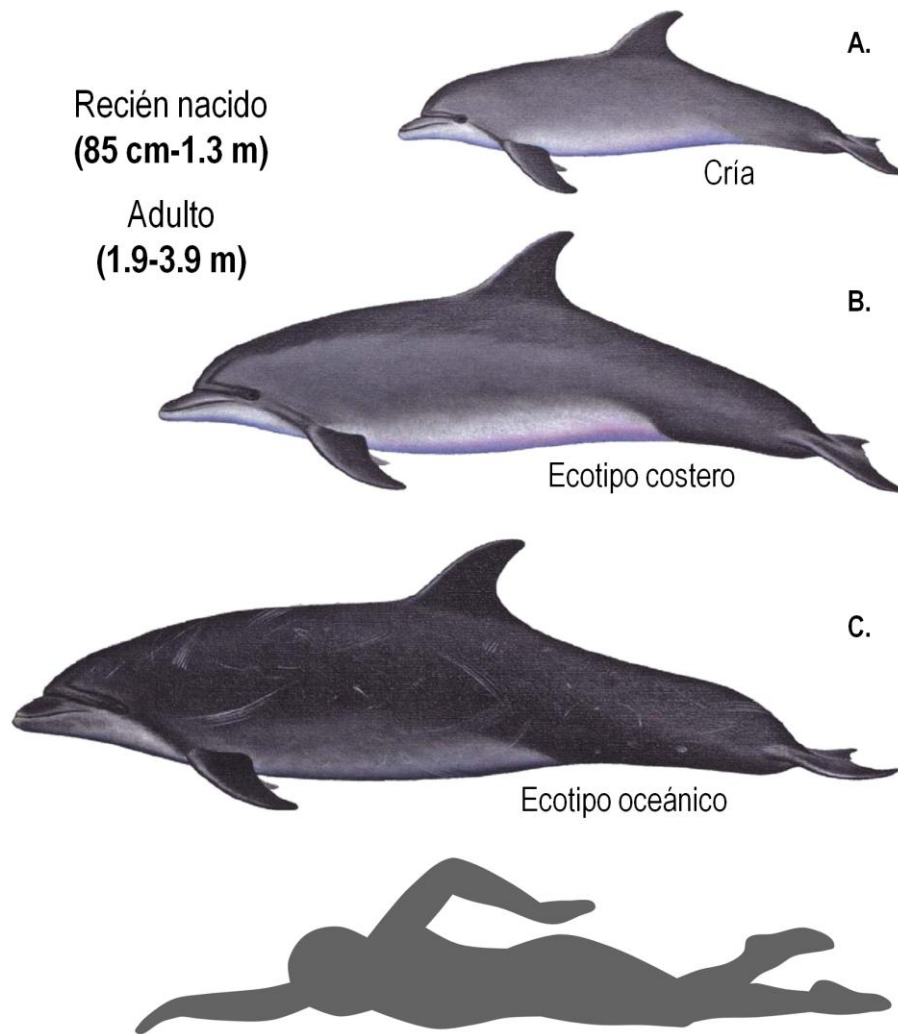
## 1.1. Biología de la especie

### 1.1.1. Taxonomía

Los **tursiones o toninas** (*Tursiops truncatus* Montagu, 1821, Figura 2) pertenecen a la familia Delphinidae (Tabla 1). El nombre *Tursiops* deriva del latín *Tursio* que significa (delfín) y del sufijo griego *-ops* que significa apariencia, mientras que *truncatus* deriva del latín *trunco-* para truncado, aparentemente haciendo referencia a sus dientes aplanados, característica distintiva que utilizó Montagu (1821) para identificar a los organismos de esta especie. Durante mucho tiempo todos los tursiones del mundo fueron reconocidos como *Tursiops truncatus*, pero en los últimos años este género se ha dividido en dos especies, *Tursiops truncatus* y *Tursiops aduncus* (Ehrenberg, 1833, el tursión del Indo-Pacífico). Muchas otras especies de tursiones han sido descritas, tales como *Tursiops gephyreus* (Lahille, 1908), *Tursiops gillii* (Dall, 1873) y *Tursiops nuuanu* (Andrews, 1911), pero la mayoría de estas especies se cree que son la misma especie que *Tursiops truncatus* (Jefferson *et al.* 2008, Wells & Scott 2008).

Los tursiones presentan gran variación intraespecífica en términos del tamaño, fisonomía y coloración dependiendo de su distribución geográfica, por lo que se reconocen dos variedades o **ecotipos** distintos: la variedad de menor tamaño que habita en las costas o **ecotipo costero** (Figura 2 B) y la variedad de mayor tamaño que generalmente

habita en alta mar o **ecotipo oceánico** (Figura 2 C). Si bien, se reconoce una sola especie de *Tursiops truncatus*, existe evidencia bioquímica que sugiere que existen al menos dos ecotipos distintos. Estos ecotipos se distinguen mediante diferencias en la química sanguínea, las características de su ADN mitocondrial, la medición del cráneo, la dieta y, como ya se mencionó, en el tamaño corporal. En general, el ecotipo costero tiene menor tamaño, coloración más clara y aletas pectorales proporcionalmente más grandes que el ecotipo oceánico. Se sugiere que las aletas pectorales grandes presentes en el ecotipo costero facilitan su termorregulación y aumentan la capacidad de maniobra en los puertos, bahías y lagunas costeras frecuentadas por estos tursiones. El ecotipo oceánico parece estar mejor adaptado para realizar buceos de profundidad y para aguas con menor temperatura, ya que el gran tamaño corporal del ecotipo oceánico favorece la conservación del calor corporal y sirve como defensa contra el ataque de depredadores potenciales (Hersh & Duffield 1990, Mead & Potter 1990, Carwardine 2002, Wells & Scott 2008).



**Figura 2.** Fisonomía y longitud promedio de (A.) una cría de tursión (*Tursiops truncatus*), (B.) del ecotipo costero y (C.) del ecotipo oceánico (modificado de Carwardine 2002 y Jefferson *et al.* 2008).

**Tabla 1.** Clasificación taxonómica de la especie *Tursiops truncatus* Montagu, 1821 (tomada de Carwardine 2002).

**Reino:** Animalia  
**Phylum:** Chordata  
**Clase:** Mammalia  
**Orden:** Cetacea  
**Suborden:** Odontoceti  
**Familia:** Delphinidae  
**Género:** *Tursiops*  
**Especie:** *Tursiops truncatus* Montagu, 1821

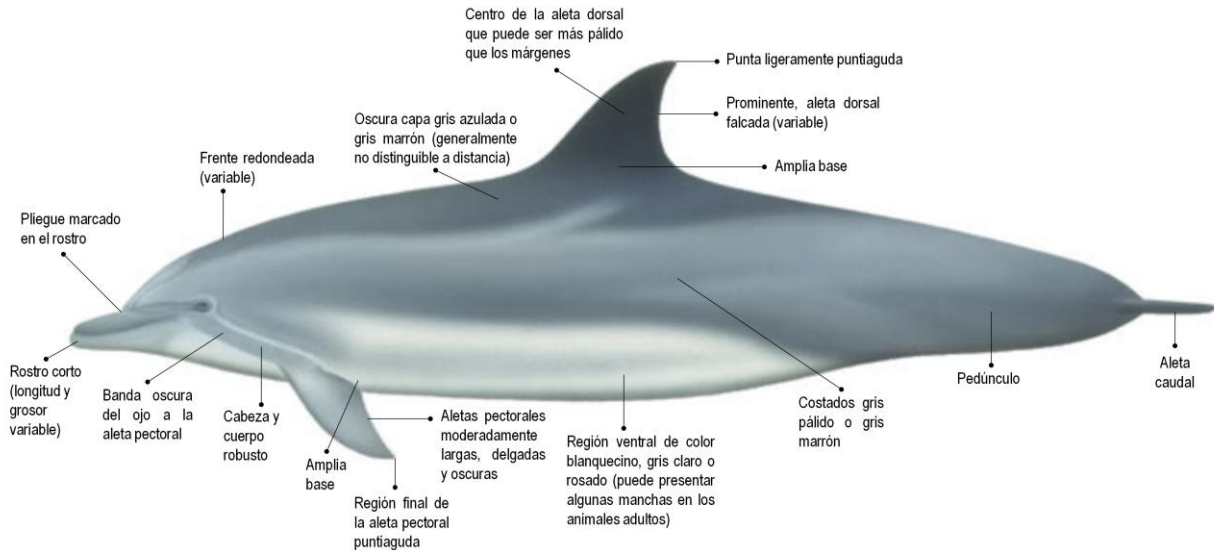
### 1.1.2. Fisonomía y fisiología

Los tursiones son reconocidos fácilmente por su fisonomía (Figura 3). Estos mamíferos poseen un tamaño mediano, aspecto robusto, un rostro corto en el cual claramente se separa el melón mediante un pliegue y una aleta dorsal moderadamente falcada, alta y con una coloración oscura, situada cerca de la mitad de la espalda. Las aletas pectorales son arqueadas y algo puntiagudas. La forma corporal fusiforme e hidrodinámica de los tursiones es semejante a la de los demás delfines, pero existe una gran variación geográfica en cuanto a la forma del cuerpo, apéndices y coloración. Los tursiones poseen una línea bucal ligeramente curvada que se hunde desde la punta del rostro, después asciende gradualmente y finalmente se mantiene constante (algunas personas creen que la línea bucal de los tursiones asemeja a una sonrisa) (Jefferson *et al.* 1993, Jefferson *et al.* 2008, Wells & Scott 2008).

La **coloración** en la superficie dorsal y lateral del tursión puede ser gris, gris-marrón o gris oscuro, con una superficie ventral blanquecina o rosada. Algunas veces, es posible observar una capa oscura gris-azulada o gris-marrón en la región dorsal de los tursiones. Esta capa es visible cuando la coloración del tursión es de tonalidad algo clara. El patrón de coloración en los tursiones puede variar entre individuos. Por ejemplo, algunos individuos adultos pueden presentar un patrón de manchas inconspicuas en los costados y en la superficie ventral. Otra característica distintiva en los tursiones es la presencia de una banda oscura que va del ojo hasta la aleta pectoral (Figura 3). La coloración en los tursiones, como ya se mencionó, varía dependiendo en los ecotipos (Jefferson *et al.* 2008, Wells & Scott 2008).

Los tursiones son animales de **tamaño mediano**. La longitud del tursión adulto puede ser de 1.9-3.9 m, con variaciones debidas a los ecotipos, como ya se mencionó, mientras que el tamaño de las crías es de

aproximadamente 85 cm-1.3 m (Figura 2) (Mead & Potter 1990, Carwardine 2002, Wells & Scott 2008). El **peso** de los tursiones adultos varía entre 150 y 650 kg, mientras que el peso de las crías es de 15 a 30 kg (Carwardine 2002).



**Figura 3.** Fisonomía del tursión (*Tursiops truncatus* Montagu, 1821) (modificado de Carwardine 2002).

La **velocidad promedio de nado** en los tursiones es de 5-11 km/h, aunque son capaces de alcanzar velocidades de hasta 35 km/h por periodos cortos. La velocidad y la duración de nado en los tursiones son inversamente proporcionales. Las velocidades altas de nado pueden durar unos cuantos segundos, mientras que las velocidades de nado bajas pueden durar largos periodos (Carwardine 2002).

Los tursiones en aguas someras (ecotipo costero) tienden a hacer **inmersiones** relativamente breves, con una duración de 1-4 min y emergiendo en promedio dos veces cada minuto. En aguas profundas, como en el Pedestal de las Bermudas, se ha documentado que los tursiones del ecotipo costero pueden hacer inmersiones a más de 500 m de profundidad por más de 5 minutos (Ridgway 1990, Carwardine 2002, Wells & Scott 2008).

La forma fusiforme del cuerpo de los tursiones y el tamaño reducido de sus extremidades intervienen en la disminución de la superficie de contacto con el agua, conservando así su calor corporal. Además, una gruesa capa de grasa se encuentra debajo de la piel actuando como una capa de aislamiento térmico y como reservorio de energía. La capa de grasa generalmente representa del 18-20% del peso corporal de los tursiones (Carwardine 2002). Al igual que todos los cetáceos, los tursiones utilizan un **sistema de intercambio de calor en contracorriente** para regular su temperatura corporal interna. El sistema circulatorio de los tursiones está diseñado

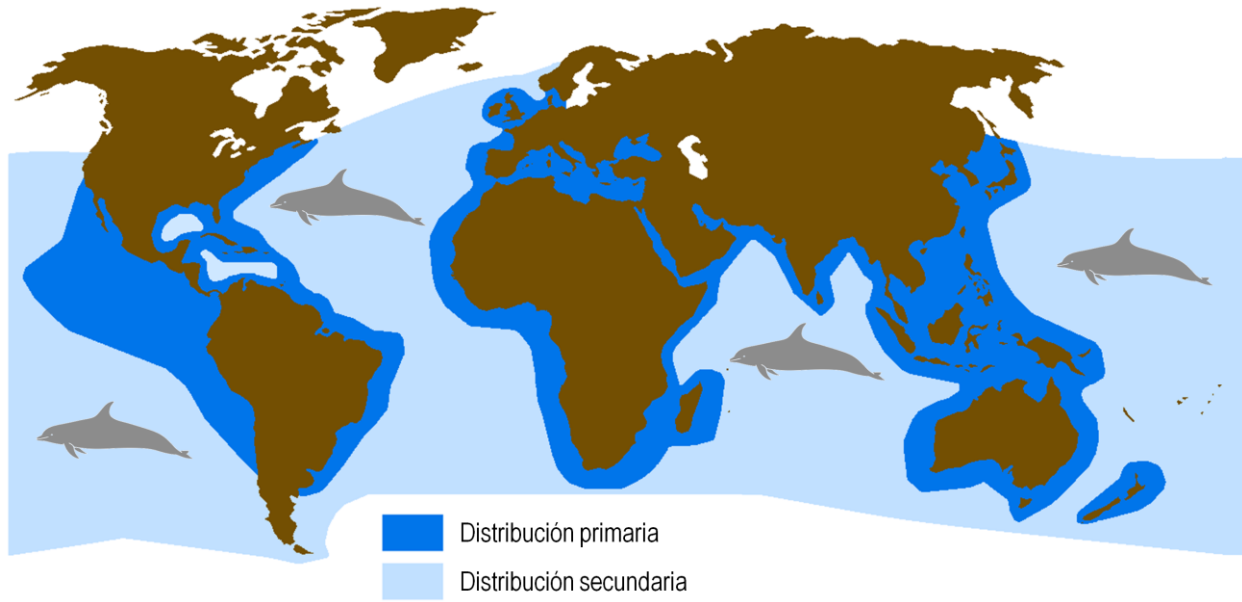
para conservar el calor en aguas frías y para disipar el calor en aguas más cálidas. En las aletas pectorales, aleta dorsal y aleta caudal las arterias están rodeadas de venas, las cuales tienen un papel esencial en la termorregulación de los tursiones (Carwardine 2002). En aguas frías el calor de la sangre arterial se transfiere a la sangre venosa en lugar de transferirse al exterior, conservando así el calor corporal. En aguas cálidas los tursiones algunas veces necesitan disipar el exceso de calor corporal generado por el nado a altas velocidades u otras actividades vigorosas. En estos casos, se aumenta el flujo de sangre a las venas de las extremidades, mientras que la circulación hacia las venas del interior del cuerpo es disminuida. De esta manera, el exceso de calor es liberado del cuerpo hacia el exterior (Carwardine 2002). Otro mecanismo utilizado para conservar el calor corporal se produce durante el buceo profundo, cuando la sangre de las extremidades y de la superficie corporal se desvía a los tejidos subyacentes a la capa de grasa (Carwardine 2002).

### 1.1.3. Distribución geográfica y abundancia

*Tursiops truncatus* es una especie **cosmopolita** que se puede encontrar en los océanos de todo el mundo, desde aguas tropicales hasta aguas templadas (Figura 4). En el Océano Atlántico, se pueden hallar desde Nueva Escocia hasta la Patagonia y desde Noruega hasta Sudáfrica. En el Océano Pacífico, se encuentran desde Japón hasta Australia, en las Islas de Hawaii y del sur de California hasta Chile. Los tursiones se distribuyen en la mayoría de los mares semicerrados, tales como el Mar Negro, el Mar Rojo, el Mar Mediterráneo y el Golfo de California (Mar de Cortés). En el Océano Índico, es posible encontrarlos en aguas costeras. Sin embargo, *Tursiops aduncus* es la especie costera más común en el Océano Índico. El límite de la distribución de *Tursiops truncatus* parece estar relacionado con la temperatura, ya sea directa o indirectamente, a través de la distribución de sus presas. Frente a las costas de América del Norte tienden a habitar aguas con temperaturas superficiales que van desde unos 10 °C a 32 °C (Carwardine 2002, Jefferson *et al.* 2008, Wells & Scott 2008).

Los tursiones del ecotipo costero se distribuyen principalmente en aguas tropicales (Figura 4), así como en una amplia gama de ambientes costeros, desde costas abiertas con oleaje fuerte hasta lagunas, estuarios e incluso en puertos y en las desembocaduras de los ríos. Los tursiones del ecotipo oceánico se distribuyen comúnmente alrededor de las islas oceánicas y también pueden observarse en alta mar, como en el Océano Pacífico Oriental Tropical y en el Golfo de México. El ecotipo oceánico es poco frecuente en el Océano Atlántico norte, aunque puede hallarse al norte del Reino Unido (Carwardine 2002, Jefferson *et al.* 2008).





**Figura 4.** Distribución de la especie *Tursiops truncatus* en los océanos del mundo (modificado de Jefferson *et al.* 2008).

Se desconoce el tamaño total de la población mundial de *Tursiops truncatus*, aunque su **abundancia** ha sido estimada para algunas regiones. En la región del Océano Pacífico Oriental Tropical hay cerca de 243,500 individuos, alrededor de Japón 317,000, frente a la costa este de EE.UU. entre 10,000-13,000, en el norte del Golfo de México entre 35,000-45,000 y en el Mar Negro 7,000. Frente a Natal, Sudáfrica hay alrededor de 900 individuos, pero la mayoría de estos individuos son de la especie *Tursiops aduncus* (Jefferson *et al.* 2008).

#### 1.1.4. Historia de vida

##### 1.1.4.1. Madurez sexual, reproducción y periodo de gestación

La **madurez sexual** en los tursiones es muy variable. La edad a la cual los tursiones alcanzan la madurez sexual varía dependiendo de la región. Las hembras generalmente alcanzan la madurez física y sexual antes que los machos, lo que conduce al dimorfismo sexual en algunas regiones. En general, las hembras la alcanzan cuando miden aproximadamente 2.3 m o entre los 5-12 años de edad, mientras que los machos maduran a los 2.4 m o entre los 9-14 años de edad. Se ha reportado que las hembras de hasta 48 años de edad pueden dar a luz exitosamente y cuidar a sus crías (Carwardine 2002, Wells & Scott 2008).

Los tursiones pueden tener **crías** durante todo el año. Sin embargo, se han observado **picos de reproducción** que varían según la ubicación geográfica y que generalmente se presentan durante los meses de primavera-verano o primavera-otoño. Las crías nacen después de un **periodo de gestación** de alrededor de un año y nacen con una longitud de entre 84 a 140 cm, también dependiendo de la región geográfica (Perrin & Reilly 1984, Wells & Scott 2008).

#### 1.1.4.2. *Lactancia y cuidado parental*

La **lactancia** es la principal fuente de nutrición que recibe la cría durante su primer año de vida y puede continuar por varios años más. Se ha encontrado alimento sólido junto con leche materna en los estómagos de crías de tan sólo 4 meses de edad. Las crías de los tursiones alcanzan casi el máximo de su talla durante el periodo lactante, es decir, aproximadamente al año y medio o dos años de vida (Wells & Scott 2008).

El **cuidado parental** en los tursiones silvestres generalmente se extiende hasta los 3 a 6 años de la cría, cuando la separación madre-cría coincide con el nacimiento de la siguiente cría. Se ha observado que existen tursiones hembras que pueden estar simultáneamente embarazadas y lactando (Wells & Scott 1999, Wells & Scott 2008).

#### 1.1.4.3. *Longevidad, mortandad y depredadores*

El **promedio de vida** de los tursiones es de aproximadamente 20 años. Sin embargo, algunas hembras pueden llegar a vivir hasta 57 años y algunos machos hasta 48 años. La edad de los tursiones se establece a partir del análisis dental. Los tursiones producen capas de crecimiento (GLGs, “*growth layer groups*” por sus siglas en inglés) en sus dientes con la edad, por lo que mediante el análisis de la sección transversal de los dientes y contando las capas de crecimiento se puede determinar la edad de los tursiones. (Wells & Scott 1999, Carwardine 2002, Wells & Scott 2008).

La **mortandad** en los tursiones se debe tanto a causas naturales como a causas antropogénicas. Las causas naturales pueden ser la edad, retraso en el desarrollo infantil, interacciones intra-específicas agonísticas, depredación, heridas ocasionadas por el agujijón de las rayas, enfermedades y biotoxinas de las floraciones algales nocivas provenientes de las mareas rojas. Por otro lado, la mortandad en tursiones a causa de las amenazas de origen humano incluyen el enmallamiento ocasionado por las redes de pesca, la ingestión de herramientas utilizadas en las artes de pesca, la caza indiscriminada con arpón, las colisiones con embarcaciones, la contaminación, el ruido ambiental y la destrucción del hábitat (Wood *et al.* 1970, Walsh *et al.* 1988, Wells & Scott 1999, Carwardine 2002, Wells & Scott 2008).

Los principales **depredadores** de los tursiones son los tiburones grandes, tales como el tiburón toro (*Carcharhinus leucas* Valenciennes, 1839), el tiburón arenoso (*Carcharhinus obscurus* Lesueur, 1818), el gran tiburón blanco (*Carcharodon carcharias* Linnaeus, 1758) y el tiburón tigre (*Galeocerdo cuvier* Péron & Lesueur, 1822), aunque ocasionalmente las orcas también pueden ser sus depredadores. En algunas regiones, *Tursiops* suele ser un componente menor u ocasional en la dieta de los tiburones, ya que la tolerancia mutua es común durante los encuentros entre tiburones y delfines. Sin embargo, gran número de los tursiones presentan cicatrices de mordeduras de tiburón como prueba de los encuentros ocasionales, dependiendo de la región. La mayoría de las heridas y cicatrices ocasionadas por los tiburones tienden a encontrarse en la región posterior y ventral de los tursiones, lo que sugiere que los tursiones suelen ser atacados por detrás y por debajo. Algunos ataques pueden haber sido algo más que un intento de depredación, por ejemplo, un ataque para defender su territorio. Diversas observaciones de tursiones en cautiverio sugieren que son capaces de reconocer ciertas especies de tiburones como amenazas potenciales. Se ha observado que los tursiones adultos pueden defenderse de los tiburones golpeándolos fuertemente con su rostro o con su aleta caudal. Este comportamiento en los tursiones puede explicar su alta tasa de sobrevivencia y la presencia de heridas asociadas a mordidas de tiburón en tursiones adultos vivos, especialmente en las hembras. La aparente baja frecuencia de cicatrices y mordidas ocasionadas por tiburones en tursiones jóvenes indica que las crías están bien protegidas por sus madres o que los ataques a los tursiones jóvenes son generalmente mortales (Wood *et al.* 1970, Walsh *et al.* 1988, Carwardine 2002, Wells & Scott 2008).

#### 1.1.4.4. *Desplazamiento diario y migraciones*

Los tursiones **nadan en promedio** 33-90 km diarios, aunque se ha reportado que los tursiones de ecotipo oceánico pueden desplazarse hasta 800 km en un día (Tanaka 1987). Algunas poblaciones de tursiones de ecotipo oceánico parecen emprender migraciones estacionales, mientras que la mayoría de las poblaciones de tursiones de ecotipo costero tienden a ser residentes durante todo el año (Jefferson *et al.* 2008).

#### 1.1.4.5. *Actividades conductuales*

En general, los tursiones presentan un **comportamiento muy activo**. Los tursiones silvestres parecen estar activos durante el periodo diurno y nocturno, alternando diversas actividades como: la alimentación, el desplazamiento, la socialización y el reposo. La duración y la frecuencia de estas actividades están influidas por factores ambientales como la estacionalidad, hábitat, hora del día, estado de las mareas y por factores fisiológicos tales como la época de reproducción (Shane *et al.* 1986, Carwardine 2002, Wells & Scott 2008).

## 1.1.5. Ecología

### 1.1.5.1. Hábitat

La mayoría de los *Tursiops* habitan en **aguas costeras tropicales y templadas**. Estos mamíferos tienen la capacidad de adaptarse a una gran variedad de ambientes marinos y estuarinos, e incluso pueden encontrarse en la desembocadura de los ríos. Pero también pueden hallarse en aguas pelágicas, cerca de islas oceánicas y sobre la plataforma continental, especialmente a lo largo del límite de la plataforma, como ya se mencionó (Jefferson *et al.* 2008, Wells & Scott 2008).

### 1.1.5.2. Alimentación

Los tursiones se alimentan de manera oportunista, aparentemente de cualquier presa perteneciente a su dieta que encuentren con mayor abundancia en ese momento. El comportamiento de alimentación de los tursiones es variado, desde la alimentación cooperativa de un banco de peces, la caza individual de peces en marismas, hasta la alimentación detrás de las redes de barcos camaroneros y otras artes de pesca (Jefferson *et al.* 1993, Jefferson *et al.* 2008, Wells & Scott 2008). Cuando los tursiones **cazan con frecuencia en conjunto**, a este comportamiento se le conoce como alimentación cooperativa. Las manadas de tursiones pueden rodear a los grandes cardúmenes, creando ajustadas masas de peces que son formadas mediante hábiles movimientos y el uso de sus colas. Cuando el cardumen está lo suficientemente denso, los tursiones se turnan nadando a través del cardumen para alimentarse. Se ha observado que los tursiones pueden guiar a los cardúmenes de peces litorales hacia aguas someras con el fin de atraparlos con mayor facilidad (Carwardine 2002, Wells & Scott 2008).

La **dieta** de los tursiones está constituida principalmente de peces bentónicos, aunque los peces pelágicos también representan una parte importante de su dieta, como los de las familias: Sciaenidae (corvinas), Scombridae (atunes y bonitos) y Mugilidae (lisas). También se alimentan de calamares, aunque también pueden alimentarse de camarones y otros crustáceos. Un tursión puede consumir 4-5% de su peso corporal al día, mientras que las madres lactantes consumen aproximadamente 8% de su peso corporal diariamente.

A pesar de que la dieta de los tursiones se considera generalista, se ha identificado que existen diferencias en la dieta de los tursiones de los ecotipos costero y oceánico y cada individuo dentro de una población puede mostrar cierto grado de especialización. En algunos casos, las manadas de tursiones se alimentan en diferentes áreas dependiendo del sexo y tamaño. Por ejemplo, las madres lactantes y sus crías se alimentan cerca de la costa, los adolescentes se alimentan ligeramente más alejados de la costa y los restantes machos y hembras adultos se alimentan aún más alejados de la costa. El comportamiento de alimentación en los tursiones es muy flexible y

adaptado a determinados hábitats (costero y oceánico) y recursos alimenticios (Carwardine 2002, Jefferson *et al.* 2008, Wells & Scott 2008).

#### 1.1.5.3. *Tamaño y composición de la manada*

Los tursiones se encuentran normalmente en **manadas** de 2-20 individuos, aunque se han reportado manadas mayores a 1000 individuos. En general, los tursiones del ecotipo costero, es decir, los que habitan en las bahías y estuarios, tienden a formar manadas pequeñas (de 2-10 individuos) en comparación con los tursiones de ecotipo oceánico, cuyas manadas son de 2-25 individuos, aunque pueden ser mayores a 500 individuos (Leatherwood & Reeves 1982, Jefferson *et al.* 1993, Carwardine 2002, Wells & Scott 2008).

La **composición de la manada** depende de diversos factores, tales como: el sexo, la edad, la condición reproductiva, las relaciones familiares y las historias de afiliación. Los subgrupos pueden ser estables durante largos periodos, con unidades sociales básicas que incluyen: las manadas de crianza, las manadas juveniles de ambos sexos y los machos adultos solitarios o formando fuertes asociaciones en parejas (Wells 2003).

#### 1.1.5.4. *Asociaciones intra e interespecíficas*

Los tursiones que pertenecen a una **manada o grupo social** establecen **fuertes vínculos**. Diversos estudios han sugerido que los tursiones pueden mostrar preferencias por algunos individuos dentro de una manada sobre los demás y que son capaces de reconocerse entre sí, incluso después de largas separaciones. Los vínculos entre parejas de machos adultos son fuertes y pueden persistir por largos periodos, donde ambos machos demuestran cooperación en diversas actividades. Los vínculos entre madre-cría también son duraderos y las crías pueden permanecer con sus madres por 3-6 años o más (Samuels & Tyack 2000, Wells & Scott 2008).

Los tursiones pueden establecer **asociaciones mutualistas** con otras manadas de tursiones, así como con diversos cetáceos. Por ejemplo, son comunes las asociaciones entre tursiones y ballenas piloto de aletas cortas, delfines de Risso (*Grampus griseus* Cuvier, 1812), estenelas listadas (*Stenella coeruleoalba* Meyen, 1833), delfines moteados (*Stenella attenuata* Gray, 1846) y delfines tornillo (*Stenella longirostris* Gray, 1828) (Carwardine 2002, Frantzis & Herzing 2002).

#### 1.1.6. *Interacción con humanos y cautiverio*

En la **antigüedad** se utilizó a los cetáceos fundamentalmente como fuentes de producción de aceite, carne y cuero. Los pequeños cetáceos fueron comercialmente menos importantes que las grandes ballenas, por lo que se conocía

muy poco acerca del comportamiento e historia de vida de los pequeños cetáceos hasta que se llevaron a cabo **estudios en cautiverio** (Samuels & Tyack 2000).

*Tursiops truncatus* es la especie de **delfín más común en los acuarios** de todo el mundo, ya que es una especie que se puede adaptar y entrenar fácilmente. La primera aparición de los tursiones ante un público espectador fue durante los años 1860s y 1870s en acuarios de Gran Bretaña y de EE.UU.. Para el inicio del siglo XX, los pequeños cetáceos eran exhibidos en acuarios de toda Europa oriental y EE.UU. Sin embargo, en esa época se dificultó mantener a los cetáceos cautivos durante un periodo prolongado y no se tuvo éxito en la sobrevivencia de las crías nacidas en cautiverio, por lo que el alcance de los estudios en cautiverio fue limitado (Samuels & Tyack 2000, Jefferson *et al.* 2008, Wells & Scott 2008).

La exhibición pública de los pequeños cetáceos cambió radicalmente la mentalidad que se tenía sobre estos animales. Por lo que, además de representar una gran atracción, también se incrementó notablemente el interés en realizar **investigaciones científicas** con el fin de comprender su complejo comportamiento y su comunicación. Estas primeras investigaciones científicas fueron posibles gracias a los pequeños cetáceos en cautiverio albergados en estanques. Los primeros **estudios en cautiverio** comenzaron durante los años 1950s y se enfocaron principalmente en los sistemas sensoriales de los cetáceos, el estudio de su actividad cerebral, su comportamiento social y su comunicación (Samuels & Tyack 2000). Sin embargo, a pesar de los grandes avances que se obtuvieron al trabajar con cetáceos en cautiverio, se presentó la limitación de una cierta alteración del comportamiento de los cetáceos por el hecho de estar cautivos. No obstante, los estudios en cautiverio fueron de suma importancia para la mejor comprensión de la biología de estos fascinantes animales e inspiraron a los investigadores de cetáceos a tomar el siguiente paso hacia los **estudios en vida libre** (Samuels & Tyack 2000).

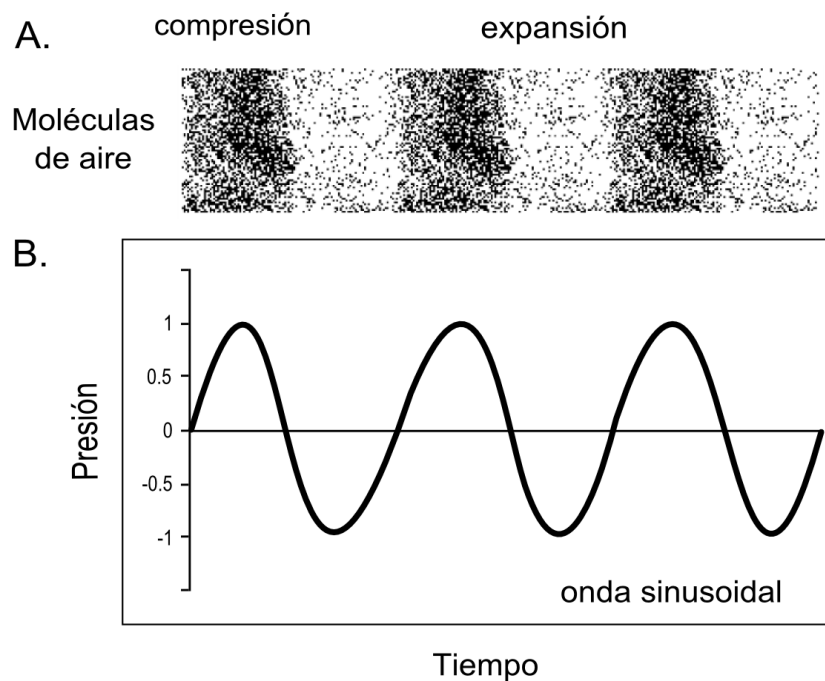
## 1.2. Generalidades de acústica

La **acústica** desempeña un papel muy importante en la vida de todos los cetáceos, sin importar su tamaño o distribución geográfica. La **visibilidad** bajo el agua se limita a decenas de metros en las mejores condiciones y a menos de una fracción de metro en aguas turbias. La visibilidad es también limitada por la falta de luz a grandes profundidades durante el día y a casi cualquier profundidad durante las noches sin luna.

El **sonido** es la energía que se propaga con mayor eficiencia en el medio marino, debido a que el agua es más densa que el aire y, como resultado, el sonido viaja en el agua con mayor rapidez (4.5 veces mayor que la velocidad del sonido en el aire) y con menor atenuación. Por ello, muchos organismos marinos han evolucionado de forma que el sonido es su principal medio de comunicación, de evasión de depredadores y de interacción con el ambiente.

Entonces, los cetáceos poseen un oído muy desarrollado y, aunque tienen buena visión, su visibilidad en el medio marino es limitada (Au 1993, Au 2000, Ketten 2000, Berta *et al.* 2006, Bazúa Durán 2010).

La **producción de ondas acústicas o sonidos** en el medio marino ocurre del mismo modo que en cualquier otro medio con propiedades elásticas, como son los fluidos (Bazúa Durán 2010). Las moléculas de agua se mueven por efecto de una **perturbación mecánica** que se ejerce sobre ellas, como la presión, y se forman zonas de compresión y expansión (o enrarecimiento, *rarefaction* en inglés) (Figura 5) que se mueven a través del medio de un punto hacia sus alrededores en la misma dirección en la que se ejerce la perturbación y dan lugar a la onda acústica o sonido, de tipo longitudinal (Bazúa Durán 2010).



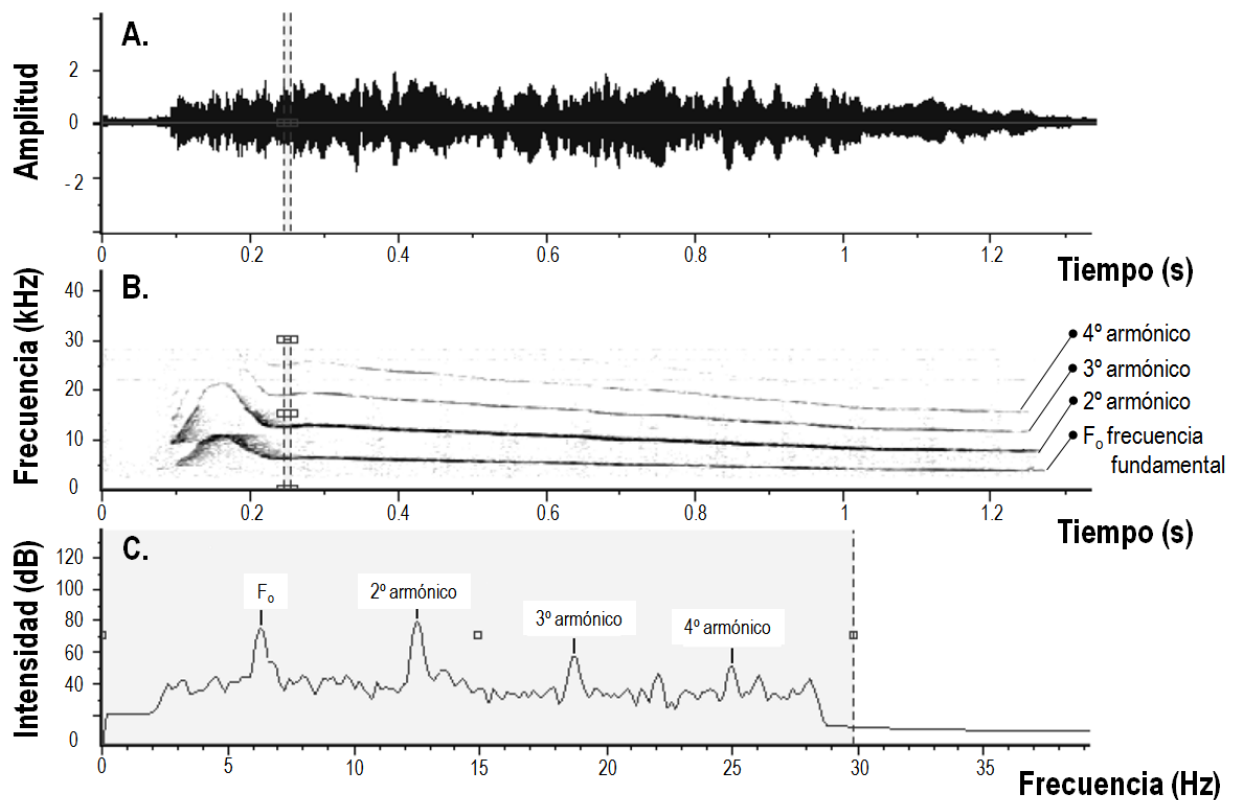
**Figura 5.** (A.) Zonas de compresión y expansión en las moléculas de aire ocasionadas por la propagación de la energía acústica y (B.) su representación como una onda sinusoidal (tomado de López Rivas 2010).

Una **onda acústica** se caracteriza por la variación de la intensidad o amplitud en el tiempo (composición temporal Figura 6 A) y en la frecuencia (composición espectral Figura 6 C). Estas variables se representan gráficamente mediante un **espectrograma** (frecuencia contra tiempo e intensidad en tonalidades Figura 6 B). La escala de tiempo en el **espectrograma** varía desde milisegundos hasta minutos, la frecuencia es medida en Hz, kHz o ciclos por

segundo y el nivel de presión acústica se mide en una escala logarítmica de decibelios (**dB**) (Au 1993). La medida convencional de la energía acústica en el medio acuático es la presión del sonido o **amplitud** en lugar de la intensidad. Esta se define en términos del nivel de presión sonora (SPL “*sound pressure level*”, por sus siglas en inglés) en unidades de decibelios (Berta *et al.* 2006):

$$\text{SPL en decibelios} = 20 \log (p/p_0),$$

donde  $p_0$  es la presión de referencia estándar (normalmente un  $\mu$ Pascal de presión en el medio acuático), por lo que los decibelios son la relación entre la presión acústica medida y la presión acústica de referencia. Estas unidades proporcionan una escala logarítmica apropiada con la que es posible comparar una gran cantidad de niveles de presión acústica (Berta *et al.* 2006).



**Figura 6.** Representación gráfica de un silbido de *Tursiops truncatus*. (A.) Oscilograma. (B.) Espectrograma, el cual es la representación gráfica más utilizada para describir a los silbidos y muestra la frecuencia fundamental (F<sub>0</sub>) o contorno del silbido y tres armónicos más. (C.) Espectro, el cual se calculó para el intervalo de tiempo mostrado en el recuadro punteado tanto del oscilograma como del espectrograma (tomado de López Rivas 2010).



En el medio marino existen una gran cantidad de **fuentes productoras de sonido**. Dentro de éstas, las **fuentes biológicas** son las de mayor diversidad y complejidad e incluyen a todos los organismos que generan ondas acústicas, como los delfines, las ballenas, los peces y los crustáceos, entre otros. Las ondas acústicas generadas por estas fuentes biológicas pueden estar tanto en el intervalo sónico (con frecuencias entre los 20 y los 20 kHz, como en el **infrasónico** (frecuencia menor a 20 Hz) o el **ultrasónico** (frecuencia mayor a 20 kHz). Las fonaciones de los cetáceos pueden ser tanto infrasónicas como ultrasónicas, dependiendo de la especie. Por ejemplo, los misticetos tienden a emitir fonaciones infrasónicas cerca de los 15 Hz (audibles a más de 100 km) utilizadas por la ballena azul y el rorcual común (*Balaenoptera physalus* Linnaeus, 1758), mientras que numerosos odontocetos tienden a emitir fonaciones ultrasónicas de más de 200 kHz (audibles a menos 8 km), principalmente los pulsos de ecolocalización y los pulsos explosivos (Au 2000, Berta *et al.* 2006, Bazúa Durán 2010).

### 1.3. Bioacústica en tursiones

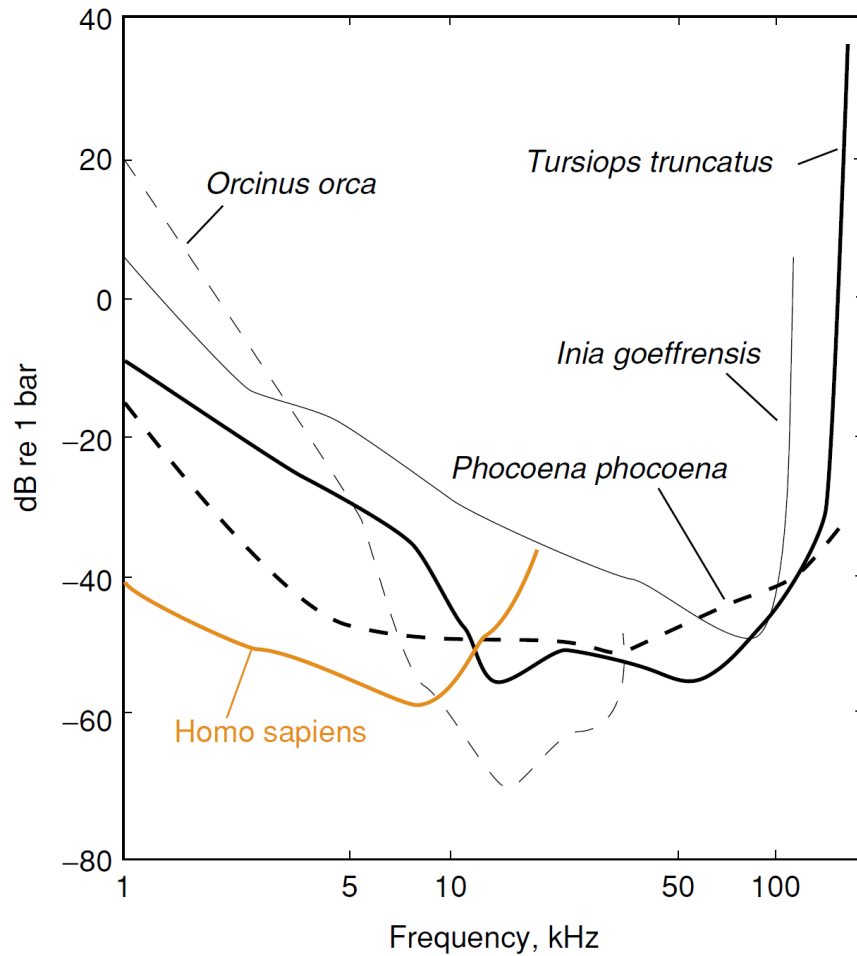
#### 1.3.1. Sistema de audición

Los estudios de comportamiento sobre mamíferos marinos silvestres y en cautiverio sugieren que todas las especies de cetáceos tienen **buena audición**, siendo el suborden **Odontoceti** el grupo que posee la mayor sensibilidad auditiva dentro de una **amplia gama de frecuencias** (Figura 7). La especie *Tursiops truncatus* posee un intervalo de frecuencia audible de 0.2-160 kHz, mucho mayor en comparación con el intervalo de frecuencia audible del humano, que es de 0.2-20 kHz. Sin embargo, los tursiones escuchan mejor los sonidos con frecuencias entre los 40 y 70 kHz (Ketten 2000, Tyack 2000, Berta *et al.* 2006).

El **oído de los cetáceos** se deriva del sistema auditivo de los mamíferos terrestres, pero en los cetáceos ha evolucionado de tal manera, que actualmente poseen el sistema auditivo más diverso (refiriéndose al aspecto físico y al acústico) en comparación con cualquier grupo relacionado de mamíferos terrestres.

Los cetáceos originalmente poseían oídos adaptados para el medio aéreo porque son descendientes de los **artiodáctilos acuáticos** de la **Familia Raoellidae** (Thewissen 2007), quienes habitaron en el intervalo de 50 hasta 60 millones de años, durante el Eoceno medio. Estos artiodáctilos gradualmente se transformaron de **ungulados a ballenas con aletas**, donde cada región de su anatomía externa e interna se modificó tanto físicamente como funcionalmente para adaptarse completamente a la vida acuática. El oído de los mamíferos terrestres adaptado para la audición a altas frecuencias se tuvo que modificar para la audición de los sonidos transmitidos en el medio acuático con el fin de seguir siendo funcional. Esta evolución del oído en los cetáceos se llevó a cabo simultáneamente con otras **modificaciones corporales**. La transición del medio terrestre al medio acuático de los

cetáceos implicó otras modificaciones corporales además de las del sistema auditivo; modificaciones en la locomoción y en el sistema de termorregulación, la natación, el buceo y el descanso en la superficie influyó en la modificación de la anatomía de su cabeza (Thewissen 2007, Ketten 2000).



**Figura 7.** Curvas de sensibilidad auditiva (audiogramas) pertenecientes a varias especies de odontocetos en comparación con el humano (tomado de Berta *et al.* 2006).

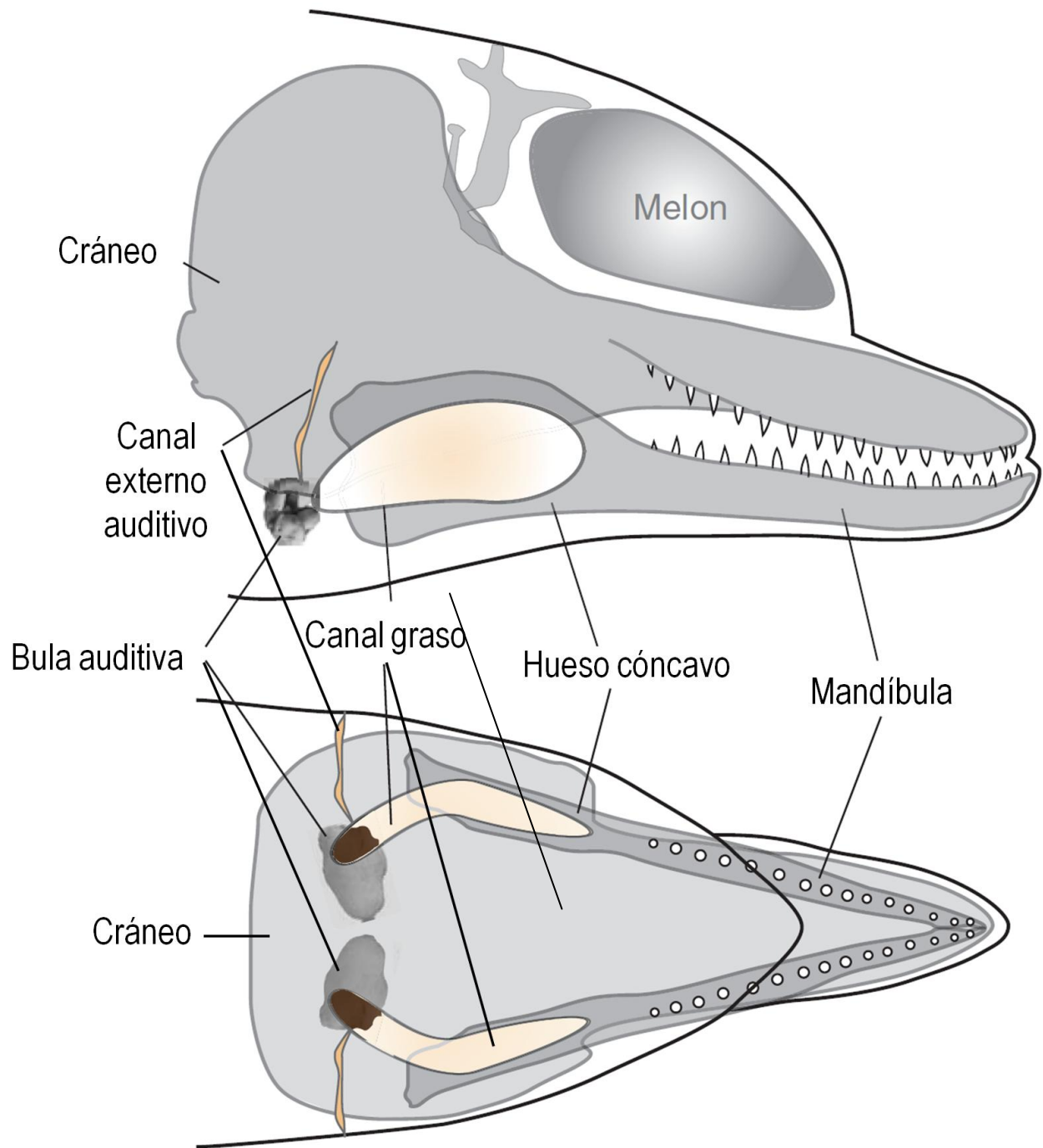
La “**telescopización**”, término acuñado por Miller (1923), se refiere al proceso mediante el cual se alargó el rostro de los cetáceos y las fosas nasales o narinas se desplazaron a la parte superior del cráneo: 1) los huesos nasales migraron a la parte superior del cráneo, 2) los huesos premaxilares y maxilares se alargaron hacia la parte superior del cráneo para mantener su posición relativa a los huesos nasales y hacia el frente para formar la punta del rostro,

3) la mandíbula también se alargó para formar la punta del rostro y 4) los huesos frontales, temporales, parietales y occipital se comprimieron y encimaron en la parte posterior del cráneo. Así, todo el rostro de los delfines es su “hocico”, ya que los huesos que conforman su cara son los huesos premaxilares, maxilares y la mandíbula (Miller 1923, Bazúa Durán 2010). Debido a la telescopización, la región auditiva se modificó: 1) se perdió el pabellón auricular externo (pina) y el conducto auditivo externo, 2) el oído medio e interno se fusionaron y 3) se formó un nuevo complejo auditivo, llamado complejo timpano-periótico, situado en el seno peribular cavernoso (Ketten 2000).

Aunque el **pabellón auricular externo** (pina) se encuentra ausente en los cetáceos, es posible observar una pequeña abertura del meato auditivo, por lo general menor a 3 mm de diámetro, la cual se aprecia externamente mediante un orificio o depresión en la piel a ambos lados de la cabeza, en la parte posterior de los ojos. Todos los cetáceos presentan algún tipo de vestigio del conducto auditivo externo. En general, en los odontocetos los conductos auditivos externos están conectados con un cerumen denso, llegando a ser progresivamente más estrechos y finalizando en un ciego que carece de conexiones evidentes con la membrana timpánica o con los huesos temporales, de manera que no se ha encontrado una verdadera asociación entre el conducto auditivo externo y la membrana timpánica o el oído medio en los odontocetos (Ketten 2000, Berta *et al.* 2006).

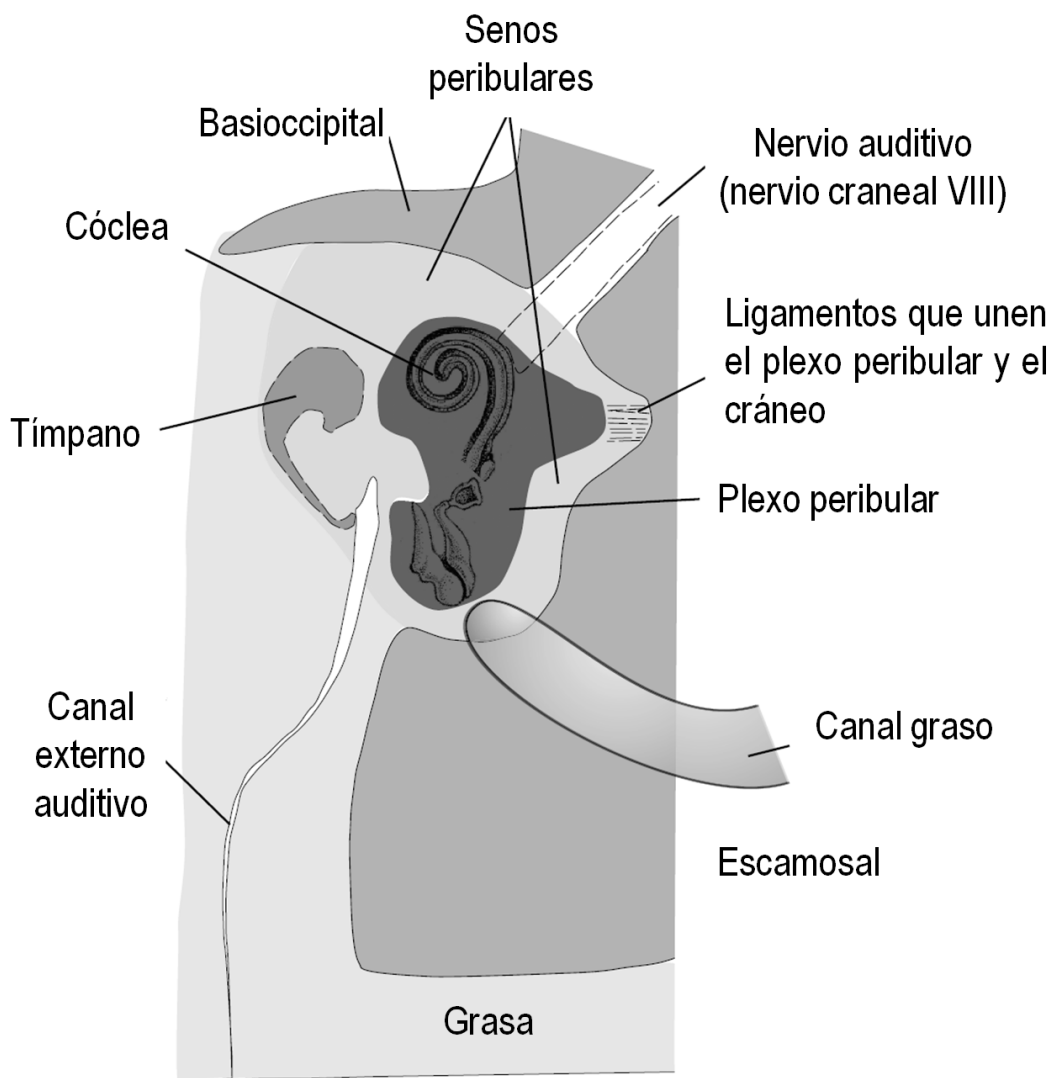
Actualmente, la mayoría de los estudios experimentales y anatómicos en los odontocetos indican que los **tejidos grasos** en la región mandibular son la principal ruta para el transporte del sonido desde el **exterior hasta el oído medio e interno** (Figura 8). El concepto de la audición mediante el hueso mandibular o hueso cóncavo (“*pan bone*” en inglés) fue propuesta por Norris (1968), quien observó que el área posterior de la mandíbula de los odontocetos tenía dos propiedades excepcionales: 1) una gran cavidad que alberga tejido graso y 2) un hueso delgado ovoide llamado hueso cóncavo recubierto de tejido graso. Norris (1968) notó que este tejido graso tenía contacto con la superficie del hueso timpánico y también observó que el tejido graso de la mandíbula era similar al tejido graso que constituye el núcleo del melón, por lo que concluyó que probablemente este tejido tenía un papel importante en la transmisión acústica del sonido (Figura 8). Finalmente, Norris (1968) sugirió que el tejido graso mandibular podría actuar como un transmisor de señales acústicas hacia el oído medio y que el hueso cóncavo proporciona una “ventana acústica” debido a su delgadez y a su posición con relación al tejido graso y al hueso timpánico (Ketten 2000).

El oído de los odontocetos posee dos componentes óseos distintos, el hueso timpánico y el hueso periótico, que conforman el “**complejo timpano-periótico**”. Este complejo difiere del complejo del hueso temporal de otros mamíferos en la forma, la constitución, la posición y el funcionamiento en general (Ketten 2000). El complejo timpano-periótico se separa de los huesos adyacentes del cráneo por los senos peribulares llenos de una emulsión aislante de mucosidad, aceite y aire. El complejo del oído se suspende en esta emulsión mediante una red poco densa de tejido conjuntivo (Figura 9). La posición extracraneal de este complejo aumenta considerablemente la



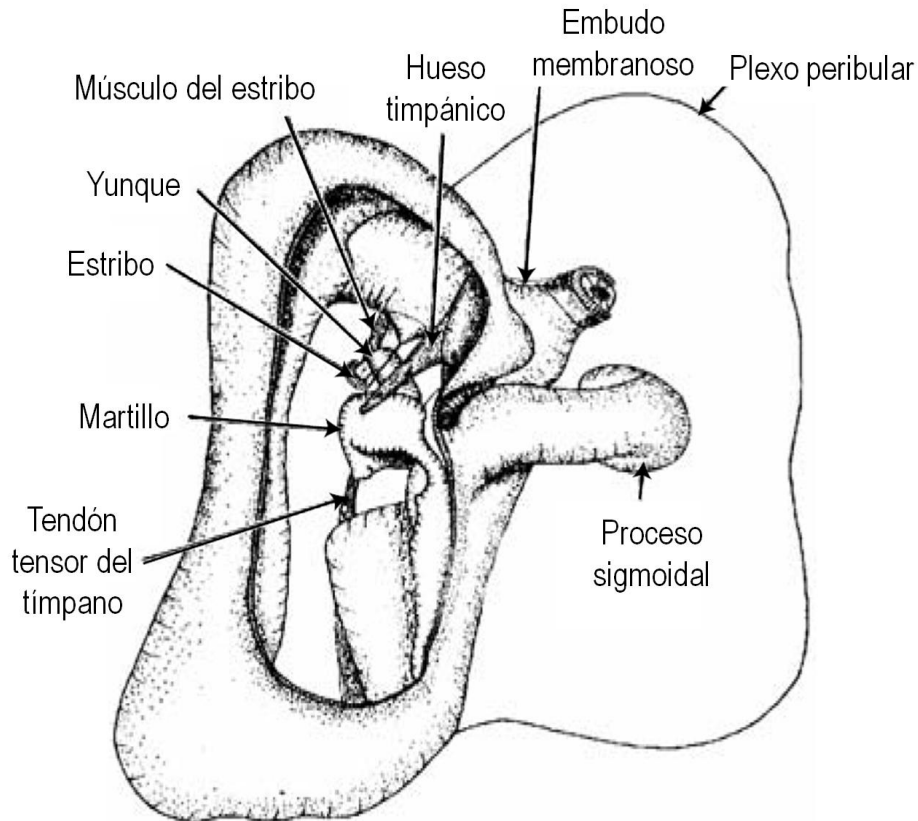
**Figura 8.** Corte transversal y longitudinal de la cabeza de un delfín mostrando la posición de la mandíbula y de los canales grasos laterales. La variación en la densidad de los lípidos se indica con tonos de grises, donde una coloración más oscura indica mayor densidad (modificado de Berta *et al.* 2006).

separación funcional de los oídos, la cual es un factor crucial en la localización del sonido en el medio acuático. La cavidad peribular (senos peribulares) está limitada por los huesos mandibular, escamoso, pterigoideo, basilar y exoccipital. En los odontocetos, los espacios de la cavidad peribular no están ocupados por tejidos suaves convencionales (los cuales se encuentran generalmente en el espacio temporomandibular) sino por el plexo peribular, el cual es un tejido esponjoso especializado con epitelio vascularizado. Hasta cinco juegos de ligamentos se extienden desde la bula periótica hasta las paredes del seno, suspendiendo el complejo del hueso temporal en el centro de la cavidad. Este juego de ligamentos permite la alineación entre el tímpano y los canales grasos inferiores y laterales, y permite el movimiento diferencial de los dos elementos que constituyen al complejo tímpano-periótico (Ketten 2000, Berta *et al.* 2006).



**Figura 9.** Esquema del oído de un odontoceto con vista ventral (sin el hueso timpánico) que ilustra el plexo peribular y los senos peribulares (modificado de Berta *et al.* 2006).

El **oído medio** de los odontocetos está constituido por tres osículos o huesecillos (martillo, yunque y estribo) (Figura 10). Estos huesecillos están bien desarrollados y poseen una forma compleja y masiva en comparación con los huesecillos de los mamíferos terrestres (Ketten 2000).



**Figura 10.** Bula auditiva derecha de un tursión que muestra el oído medio. El hueso timpánico se muestra en detalle (modificado de Berta *et al.* 2006).

El **mecanismo de transmisión del sonido en el oído medio** es un tema controversial, pero el mejor modelo funcional sobre el oído medio de los odontocetos ha sido propuesto por Hemilä *et al.* (1999, 2001). De acuerdo a este modelo, el sonido hace vibrar al hueso timpánico (especialmente a su delgada pared ventrolateral y a la membrana timpánica). La membrana timpánica se encuentra reducida a un ligamento osificado (a menudo denominado ligamento timpánico). La punta de este ligamento se fija al martillo a través del proceso gracilis, de manera que las vibraciones de la membrana timpánica se transmiten a la ventana oval y al líquido en el oído interno a través de la cadena osicular (Figura 10). Este mecanismo consta de dos palancas óseas, una creada por el

ligamento timpánico y la otra por los osículos, que ayudan a transmitir las vibraciones del sonido hacia el fluido del oído interno (Berta *et al.* 2006).

En el **oído interno** de los tursiones, la cóclea es similar a la de los seres humanos, con aproximadamente el mismo número de células ciliadas, pero difieren en la proporción de células ganglionares y ciliadas, la cual es de 5:1 en el género *Tursiops* comparado con 2:1 en los seres humanos. Además, la membrana basilar del oído interno es estrecha y rígida cerca de la ventana oval, probablemente para mejorar la sensibilidad a frecuencias altas. Dentro de la cóclea, en la parte apical, la membrana basilar es ancha y flexible, probablemente para mejorar la sensibilidad a frecuencias bajas. El órgano de Corti y la membrana basilar transforman la energía mecánica en impulsos nerviosos, los cuales viajan al cerebro vía el octavo nervio craneal, es decir, el nervio acústico o vestibulococlear (Figura 9) (Tyack 2000, Berta *et al.* 2006).

En consecuencia, los cetáceos han desarrollado especializaciones y adaptaciones auditivas que les permiten la detección e interpretación de señales acústicas en el medio acuático (Ketten 2000).

### 1.3.2. Producción de fonaciones

#### 1.3.2.1. Tipos y utilidad de las fonaciones

Los tursiones producen dos tipos de sonidos o fonaciones: los **chasquidos** y los **silbidos**. Los **chasquidos** son señales direccionales que se emiten en “trenes”, uno después del otro y se pueden dividir en dos subcategorías de acuerdo al intervalo entre chasquidos: los chasquidos explosivos (con intervalos entre chasquidos de 1.8 hasta 5.5 ms) y los chasquidos de ecolocalización (con intervalos entre chasquidos de 2.8 hasta 180 ms).

Los **chasquidos de ecolocalización** son las fonaciones que más se han estudiado porque los tursiones las utilizan como biosonar, para explorar su ambiente. Éstos son de muy corta duración (entre 9 y 70  $\mu$ s), con frecuencias pico alrededor de los 106 y 250 kHz, intensidades desde 151 hasta 228 dB re 1  $\mu$ Pa a 1m de la fuente y pueden ser uni o bimodales en su composición espectral (Bazúa Durán 2010).

Los **chasquidos explosivos** se producen durante comportamientos sociales, como las *interacciones agonísticas* (peleas y acoso sexual, entre otros). Los chasquidos explosivos se diferencian de los de ecolocalización por ser de menor intensidad (214 dB re 1  $\mu$ Pa a 1m de la fuente) y menor frecuencia pico (entre 20 y 58 kHz), menor ancho de banda (de 13 a 25 kHz) y un menor intervalo entre chasquidos (siempre menor a 6 ms), por lo que el producto tiempo-ancho de banda es distinto para cada tipo de chasquido (Bazúa Durán 2010).

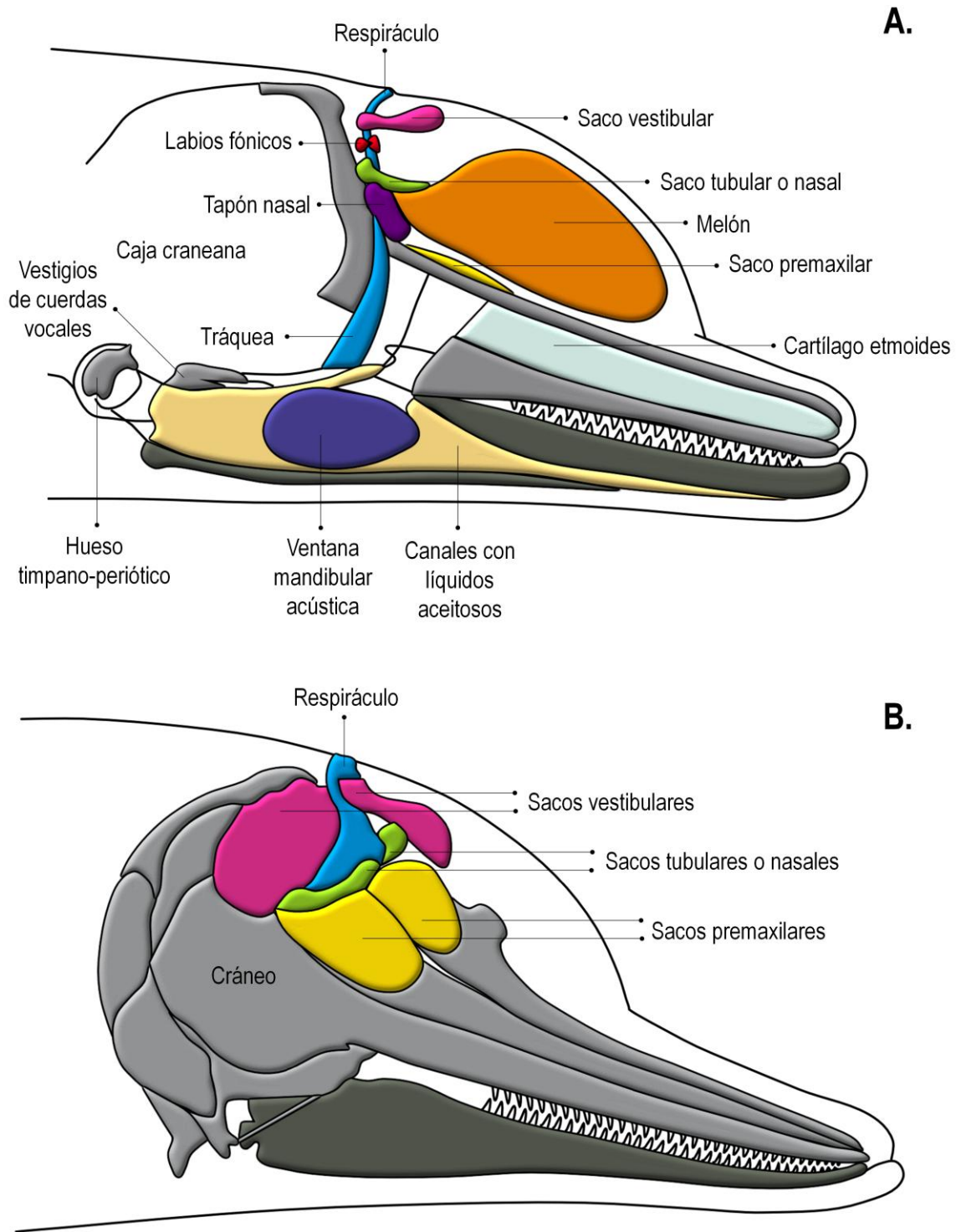
Por otra parte, los **silbidos** constituyen sonidos de frecuencia modulada, casi omnidireccionales, con una duración entre 0.1 y 3.6 s y con una frecuencia fundamental entre 1 y 35 kHz (Bazúa Durán 2010). Los silbidos contienen energía hasta los 80 kHz en sus armónicos y tienen una intensidad en la fuente de 118 a 169 dB re 1  $\mu$ Pa a 1m de la fuente (Bazúa Durán 2010). Los silbidos son emitidos por casi todos los géneros de la familia Delphinidae (como *Tursiops*, *Stenella*, *Delphinus* y *Globicephala*) y por otros odontocetos como el género *Delphinapterus* (Wood 1953). Parece ser que los silbidos solamente se utilizan en la comunicación entre individuos (Wood 1953, Connor *et al.* 1998, Herzing 2000, Jones & Sayigh 2002, dos Santos *et al.* 2005), para mantener contacto reuniendo a la manada (Wood 1953, Janik & Slater 1998, Harley 2008) y para coordinar sus movimientos (Herzing 2000), sugerencia que se fortalece debido a que algunas características de los silbidos se conservan cuando éstos viajan por el medio marino (Bazúa Durán 2010).

#### 1.3.2.2. *Mecanismos de producción*

Las **fonaciones** de los tursiones son producidas mediante un **mecanismo de presurización neumática** en el espacio nasofaríngeo al vibrar los labios fónicos debido al paso del aire (Figura 11 A). Por esta razón es que los sonidos que producen se denominan “fonaciones” y no vocalizaciones (Bazúa Durán 2010). La **producción de sonido** también involucra la **vibración de las bursas**, que incluyen los tapones nasales y el melón (Figura 11 A), y el **flujo de aire a través de los sacos aéreos** (Figura 11 B), que sirven para regular el flujo, recircular y almacenar el aire durante la producción de las fonaciones. Los tursiones, como todos los mamíferos, tienen dos conductos nasales, por lo que también tienen dos complejos fónicos o conjuntos de estructuras anatómicas que producen sonidos (Figura 11 B); es decir, tienen dos pares de labios fónicos, dos sacos vestibulares, dos sacos tubulares o nasales, dos sacos premaxilares, dos tapones nasales, etc. Esto hace que los tursiones puedan generar sonidos con sus dos complejos simultánea o independientemente; los silbidos los producen únicamente con el complejo izquierdo y los chasquidos con ambos complejos, aunque preferentemente con el derecho (Cranford 2000, Bazúa Durán 2010).

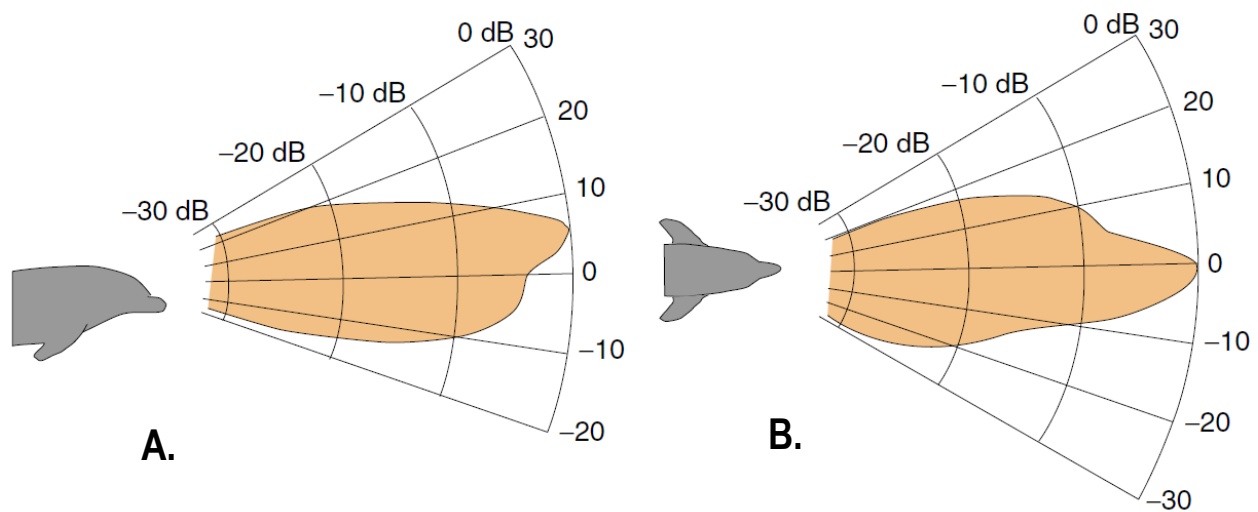
La **presión en la cavidad nasal** siempre aumenta inmediatamente antes de que ocurra una fonación, aunque no se mueven las mismas estructuras durante la producción de silbidos y chasquidos. La producción de silbidos requiere de un aumento en la presión dentro del espacio nasofaríngeo de al menos tres veces la presión necesaria para la producción de chasquidos de intensidad semejante (Bazúa Durán 2010). Es probable que la producción de silbidos requiera una estructura del espacio nasofaríngeo particular porque no todas las especies de odontocetos producen silbidos (como la vaquita y los cachalotes). Tanto el cráneo como los complejos fónicos de la mayoría de las especies que producen silbidos son asimétricos: el complejo izquierdo es más grande que el derecho (hasta el doble de tamaño), mientras que en las especies que no silban los dos complejos fónicos son casi del mismo tamaño (Cranford 2000, Bazúa Durán 2010).





**Figura 11.** Corte longitudinal de la cabeza de un tursión que muestra (A.) el espacio nasofaríngeo y señala la posición de los labios fónicos, que es con lo que producen sus fonaciones y (B.) el esquema de la cabeza que muestra el sistema de sacos aéreos y el cráneo modificado por la telescopización (modificado de Bazúa Durán 2010).

Se ha sugerido que el aire que pasa por los **labios fónicos** (Figura 11 A) produce un **sonido omnidireccional** que se transmite al agua a través de todos los tejidos de la cabeza (sonido de origen aéreo). La vibración del labio fónico debe acoplarse, mediante fenómenos de resonancia, a los tejidos adyacentes a él, como los tapones nasales y el melón (las bursas) (Figura 11 A), para producir un sonido direccional (sonido de origen tisular). El componente aéreo de la onda acústica tal vez representa el sonido de baja frecuencia generado y puede ser responsable principalmente de los silbidos, mientras que el componente tisular debe ser de alta frecuencia y puede ser el responsable de los chasquidos. El **melón** (Figura 11 A), el cual se encuentra sobre la parte anterior del cráneo, probablemente sea la estructura responsable de **orientar los chasquidos** (Figura 12) (Bazúa Durán 2010).



**Figura 12.** Patrón de direccionalidad de un chasquido (A.) en el plano vertical y (B.) en el plano horizontal (modificado de Berta *et al.* 2006).

### 1.3.3. Estudios de los silbidos producidos por los tursiones

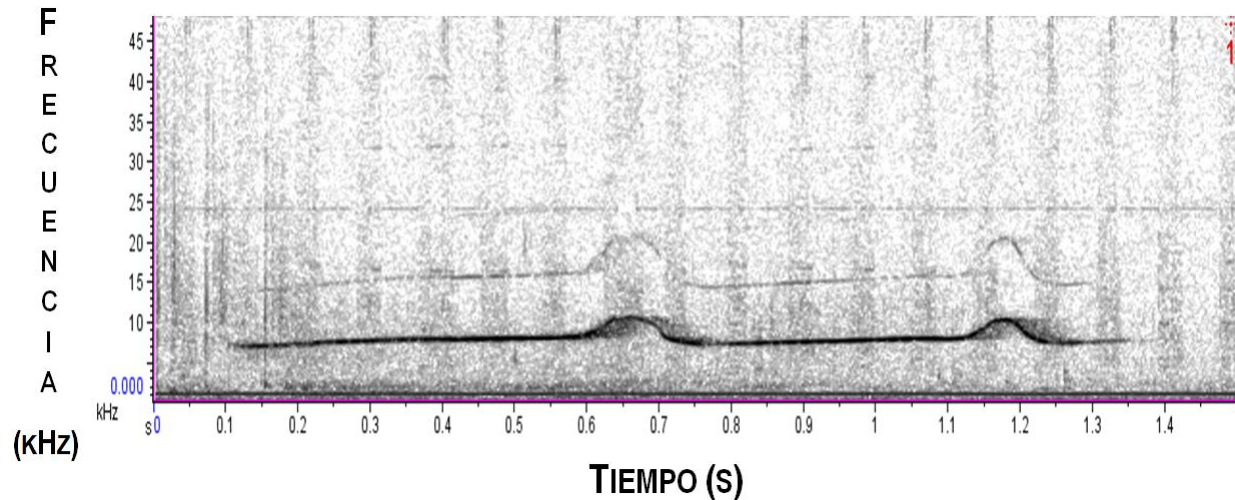
Se han realizado diversos estudios, tanto en cautiverio como en vida libre, para comprender el papel que desempeñan los silbidos emitidos por los tursiones. Estos estudios ofrecen evidencia de la posible función comunicativa del repertorio de los silbidos de los tursiones silvestres (Cook *et al.* 2004) y la diversidad de los silbidos emitidos por tursiones silvestres (dos Santos *et al.* 2005). También se han realizado investigaciones sobre cómo los tursiones utilizan los silbidos en cautiverio (Janik & Slater 1998, Sayigh *et al.* 2007, Harley 2008).

Los silbidos emitidos por los tursiones silvestres y en cautiverio pueden ser muy variables (Bazúa Durán 2010). Por ello, la detección y clasificación del repertorio (o “diccionario” de todos los silbidos que emiten) representa una gran disyuntiva en el estudio de la comunicación acústica; esencialmente en cualquier comparación de repertorios de acuerdo al contexto, individuo, población o especie (Datta & Sturtivant 2002, Deecke & Janik 2006).

La clasificación de los silbidos se puede llevar a cabo mediante dos técnicas, ambas igualmente valiosas. La primera y la más antigua es la clasificación de los silbidos mediante la observación cuidadosa por parte del investigador, denominada **clasificación manual** (Janik 1999). La segunda, más reciente, denominada **clasificación automatizada**, consiste en el empleo de métodos automatizados (o computarizados) que realizan la clasificación de acuerdo a parámetros preestablecidos por el investigador (Buck & Tyack, 1993, Janik 1999, Datta & Sturtivant 2002, Deecke & Janik 2006). La clasificación de silbidos, ya sea realizada directamente por el investigador o utilizando métodos automatizados, se efectúa usando el espectrograma de los silbidos y está basada en la similitud de los silbidos.

A pesar de que la **clasificación manual** de los silbidos que se utiliza para la determinación del **tamaño del repertorio** puede implicar **subjetividad**, debido a que depende de la percepción personal (Janik 1999), se ha encontrado que la clasificación de los silbidos realizada directamente por el investigador ha resultado muy acertada para determinar la identidad del tursión emisor (Janik 1999, Sayigh *et al.* 2007). Los métodos automatizados (**clasificación automatizada**) no sólo han resultado ser útiles en la obtención de una clasificación rápida, objetiva y reproducible de los silbidos (Datta & Sturtivant 2002, Deecke & Janik 2006) sino que también han podido determinar la identidad del tursión emisor (López Rivas, 2010). Sin embargo, en algunas ocasiones no siempre obtienen una clasificación con significado biológico (Janik 1999), probablemente porque la mayoría de los procedimientos automatizados no son capaces de identificar la no-linealidad de la percepción del sonido animal (Deecke & Janik 2006). Por ello, es conveniente realizar una validación externa que permita hacer una óptima selección de categorías de sonido con denotación biológica (Janik 1999, Deecke & Janik 2006).

El método de **clasificación automatizada** desarrollado por Deecke & Janik (2006) es un método de clasificación efectivo que calcula porcentajes de similitud entre silbidos e incorpora una curvatura temporal dinámica y una teoría de redes neuronales de resonancia adaptativa (ART). Esta clasificación automatizada **caracteriza el repertorio de silbidos** con base en la variabilidad de la frecuencia de cada silbido en el tiempo (Figura 13) (Bazúa Durán & Au 2002) y posteriormente realiza la clasificación. Este método fue utilizado con éxito en la clasificación de los silbidos de tursiones y dio categorías con significado biológico (López Rivas *et al.* 2009, López Rivas 2010).



**Figura 13.** Espectrograma de un silbido de *Tursiops truncatus* en cautiverio proveniente del **Acuario Atlantis** grabado a una tasa de muestreo de 96 kHz con 16 bits en una grabadora M-Audio Microtrack modelo 24/96.

## 2. ANTECEDENTES

Los estudios realizados sobre los silbidos emitidos por los tursiones tanto en cautiverio como en vida libre han sido diversos y se han llevado a cabo para comprender el papel que desempeñan los silbidos y la posible función comunicativa del repertorio de los silbidos de los tursiones tanto silvestres (Cook *et al.* 2004, dos Santos *et al.* 2005) como en cautiverio (Janik & Slater 1998, Sayigh *et al.* 2007, Harley 2008). Estos estudios se han llevado a cabo principalmente en el periodo diurno.

Uno de los primeros estudios sobre los silbidos de tursiones en cautiverio fue el realizado por Wood (1953), quien estudió la producción de las fonaciones subacuáticas asociadas al comportamiento en *Tursiops truncatus* y *Stenella plagiodon*, seguido por los estudios en tursiones silvestres realizados por Caldwell & Caldwell (1965, 1967), quienes estudiaron 126 tursiones de ambos sexos y diferentes edades y grabaron 22,278 silbidos. Herzing (1996) efectuó un estudio sobre el comportamiento subacuático asociado a las vocalizaciones en *Stenella frontalis* y *Tursiops truncatus* del Océano Atlántico. Cook *et al.* (2004) trabajaron sobre la producción de silbidos firma “estereotípicos” en tursiones de vida silvestre cerca de Sarasota, Florida EE.UU., clasificaron los silbidos en “firma” y “no firma” y encontraron diferencias significativas en la ocurrencia de los silbidos dependiendo del tipo de actividad que estuvieran realizando, siendo mayor la ocurrencia durante la socialización que la que se producía durante el viaje. dos Santos *et al.* (2005) investigaron sobre las características acústicas, las tasas de emisión y la estabilidad de silbidos a lo largo del tiempo en tursiones presentes en el estuario Sado en Portugal. Recientemente, se han

realizado diversos estudios durante el periodo diurno en tursiones en cautiverio, como el efectuado por Janik & Slater (1998), quienes investigaron sobre la utilidad de los silbidos firma en la reunión de los individuos de la manada. Harley (2008) investigó sobre la discriminación y clasificación de silbidos firma emitidos por *Tursiops truncatus* en cautiverio.

El único reporte sobre los silbidos emitidos durante el periodo nocturno fue el realizado por Powell (1966), quien detectó un incremento en la emisión de silbidos durante el medio día y una notable disminución en la emisión de silbidos en la noche, registrando muy pocos silbidos entre las 21:00 y las 03:00 horas.

Los estudios que se han realizado **durante varios ciclos de 24 horas** son básicamente sobre el **sueño en tursiones**, donde se reporta que los tursiones **emitieron fonaciones** tanto en el **periodo diurno como el nocturno** (Sekiguchi *et al.* 2006). Sin embargo, **no se especifica** si dichas fonaciones fueron **silbidos**, únicamente se menciona la presencia de **fonaciones en general o la emisión de chasquidos de ecolocalización** (Sekiguchi *et al.* 2006). Lyamin *et al.* (2005) estudiaron el comportamiento de **crías recién nacidas de tursión y de orca y sus madres** encontrando que, a diferencia de la mayoría de las crías recién nacidas de los mamíferos terrestres, las crías recién nacidas de tursión y de orca y sus madres mostraron un comportamiento irregular del periodo de descanso durante el primer mes postparto, **permaneciendo móviles durante las 24 horas del día**, evadiendo obstáculos (otros animales del estanque) y rara vez cerrando los ojos. Sekiguchi *et al.* (2006) analizaron el comportamiento de descanso y el cierre ocular de tres tursiones recién nacidos y sus madres y encontraron que, aunque los animales tendieron a abrir ambos ojos cuando respiraban en superficie, uno o ambos ojos estaban cerrados durante el “*nado de descanso*”, el cual es un comportamiento de descanso. Gnone *et al.* (2006) realizaron un monitoreo del comportamiento de una cría de tursión mediante **audio y video durante 24 horas** (es decir el **comportamiento acústico y no acústico**) y encontraron que estos animales pasan una gran cantidad de tiempo dormidos mientras nadan. Monitorearon y midieron la incidencia de los dos principales comportamientos de descanso presentados por tursiones de diferentes edades incluyendo dos parejas de madre-cría: el **comportamiento de nado circular estereotípico lento** y el **comportamiento inactivo de reposo** (*descanso en superficie*) (Gnone *et al.* 2006). Durante el **comportamiento de nado circular estereotípico lento** (*nado de descanso*), el tursión se movió lentamente, siguiendo una trayectoria regular y sólo emergió a la superficie para respirar; el animal no mostró interés en el entorno y **no emitió ninguna fonación**.

Gnone (2010 comun. pers.) indicó que los tursiones produjeron tanto silbidos como chasquidos durante la noche, siempre y cuando los tursiones estuvieran completamente despiertos. De acuerdo a sus observaciones, los tursiones no producen silbidos cuando se encuentran en un estado de sueño (unihemisférico) y dicho estado de sueño se observa con mayor frecuencia en la noche.

A pesar de que en los estudios realizados por Lyamin *et al.* (2005, 2006) no se realizaron grabaciones acústicas, notaron que los tursiones nunca emitieron silbidos cuando estos se encontraban durmiendo, únicamente emitieron silbidos cuando se encontraban activos. Lyamin (2010 comun. pers.) indica que la emisión de silbidos no depende de un periodo diurno y nocturno (día vs. noche), sino que depende del estado conductual que los tursiones estén llevando a cabo, y concluye diciendo que los silbidos no se encuentran asociados con el sueño en los tursiones.

Otros estudios realizados durante un periodo de 24 horas fueron sobre el comportamiento no acústico en tursiones realizados por Bloom (1991) y Bloom *et al.* (1995). Bloom (1991) analizó el comportamiento no acústico (alimentación, descanso y actividades recreacionales) de un tursión silvestre macho durante varios ciclos de 24 horas. Bloom *et al.* (1995) analizaron el comportamiento no acústico realizado por tursiones silvestres durante seis ciclos de 24 horas reportando que el comportamiento más observado fue el de forrajeo. El comportamiento de forrajeo se observó considerablemente más durante el periodo diurno. Estos autores mencionan que los tursiones invierten una parte considerable de su tiempo asociados a botes y a nadadores (en promedio 34% durante el periodo diurno), actividad que se denominó como “actividad recreativa”. La información obtenida mediante las observaciones informales indicó que se presentó una mayor incidencia de actividad recreativa, menor actividad de descanso y menor actividad de forrajeo a diferencia de las observaciones formales. El monitoreo acústico durante el forrajeo fue de gran utilidad, especialmente durante el periodo nocturno, ya que este monitoreo representó un método más preciso para detectar eventos de caza o alimentación que sólo las observaciones exteriores. Los comportamientos de inspección y de constante ecolocalización fueron comunes durante el forrajeo, mientras que durante el traslado o nado de los tursiones de un lugar a otro no muy lejano las emisiones de ecolocalización estuvieron ausentes (Bloom *et al.* 1995). El comportamiento de descanso o reposo también estuvo acústicamente monitoreado y fue esencialmente silencioso (Bloom *et al.* 1995).

Es importante resaltar que durante los **últimos 44 años** (desde Powell 1966) no se ha realizado ningún estudio que se enfoque específicamente a los **silbidos de tursiones en cautiverio durante ciclos de 24 horas**, hasta el **presente estudio**.

### 3. OBJETIVOS

#### 3.1 General

Analizar y comparar la emisión de silbidos de tursiones (*Tursiops truncatus*) en cautiverio durante un ciclo de 24 horas en dos acuarios.

#### 3.2 Particulares

1. Analizar la base de datos de silbidos emitidos en cada acuario durante 24 horas.
2. Describir el repertorio de silbidos emitidos en cada acuario durante 24 horas.
3. Comparar los silbidos de los tursiones emitidos durante el periodo diurno y nocturno.
4. Comparar los silbidos de los tursiones emitidos en los dos diferentes acuarios.

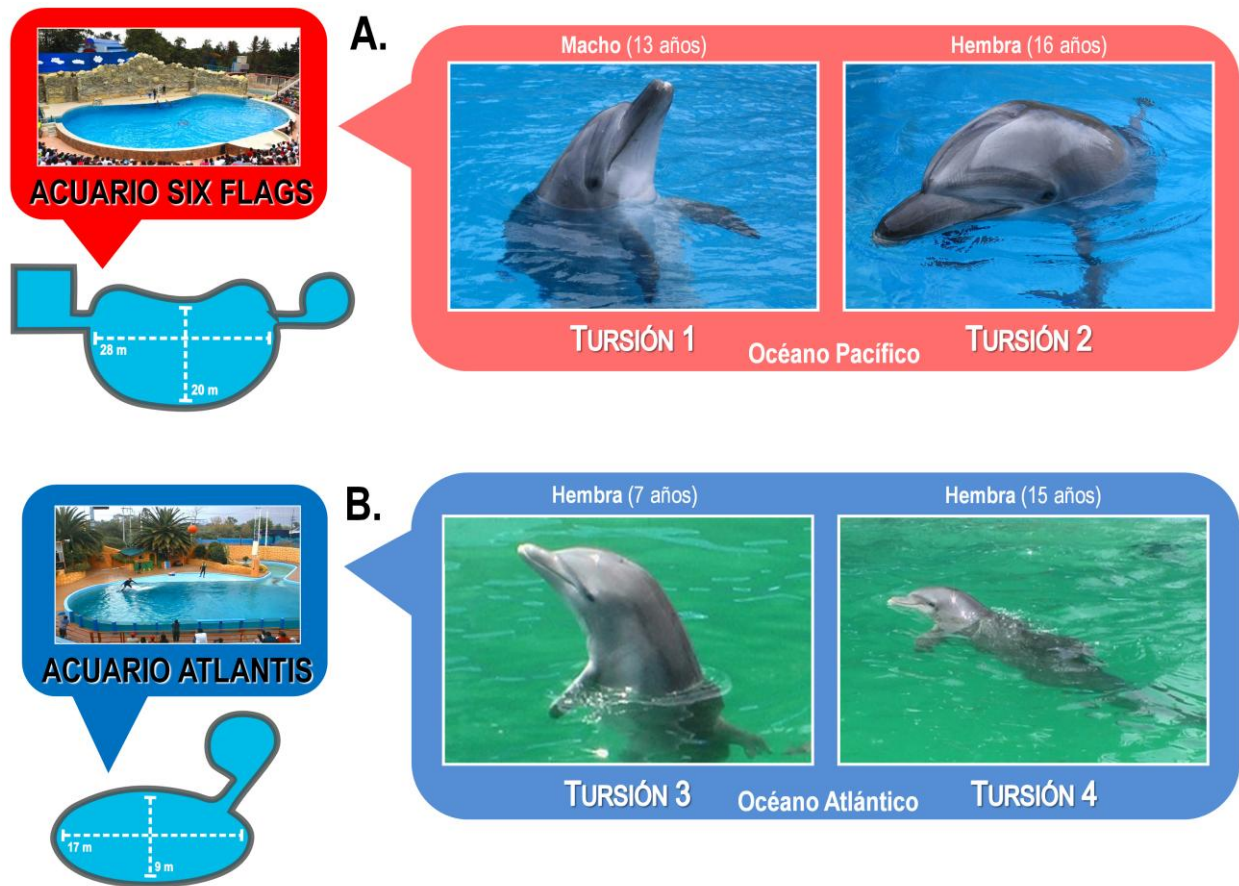
### 4. MÉTODOS

#### 4.1. Trabajo de campo

El trabajo de campo consistió en la grabación de los silbidos durante 24 horas de cuatro tursiones ubicados en parejas en dos acuarios en la ciudad de México, como parte del trabajo de López Rivas (2010). En el **Acuario Six Flags** se grabaron dos tursiones adultos, un macho de 13 años (Figura 14 A. Tursión 1) y una hembra de 16 años (Figura 14 A. Tursión 2) provenientes del Océano Pacífico. El muestreo se realizó de las 07:28 horas del 13 de septiembre de 2007 a las 07:27 horas del 14 de septiembre. En el **Acuario Atlantis** también se grabaron dos tursiones, un tursión adulto y un juvenil, una hembra de 15 años y una hembra de siete años (Figura 14 B. Tursión 3 y Tursión 4), respectivamente, ambas provenientes del Golfo de México. El muestreo se realizó de las 10:59 horas del 1 de octubre de 2007 a las 10:58 horas del 2 de octubre.

El **periodo diurno** para ambos acuarios tuvo una *duración de 14 horas*, de las 06:30 a las 20:30 horas, mientras que el **periodo nocturno** tuvo una *duración de 10 horas*, comenzando a las 20:30 horas y finalizando a las 06:30 horas del siguiente día. Para definir el **intervalo de los periodos diurno y nocturno** se tomó en consideración la hora reportada en la bitácora en que oscureció y amaneció para cada ciclo de 24 horas. Asimismo, se consultó el sitio web Weather Underground ([www.wunderground.com](http://www.wunderground.com)), el cual proporciona información meteorológica precisa de todo el mundo, para conocer la hora exacta a la que oscureció y amaneció en los días en que se realizó el

estudio en ambos acuarios. Estos dos valores en que oscureció y amaneció en ambos acuarios se **promediaron** y los resultados se **redondearon** a la media hora más cercana para obtener un **intervalo único** del **periodo diurno** y **nocturno** con el fin de que los periodos diurno y nocturno fueran iguales para ambos acuarios (Tabla 2).



**Figura 14.** Fotografías del estanque de los acuarios (A.) Six Flags y (B.) Atlantis con esquemas que indican sus dimensiones, así como las fotografías de los dos tursiones que se albergaban en cada acuario.

Las **grabaciones de las emisiones acústicas** de los tursiones de cada acuario durante un **ciclo de 24 horas** se realizaron mediante **hidrófonos** que enviaban la señal a una grabadora. Las **grabaciones diurnas** para ambos acuarios se efectuaron mediante dos hidrófonos omnidireccionales con transductores modelo 8200 ( $-198 \pm 1$  dB re  $1 \text{V}/\mu\text{Pa}$  de 3 Hz a 100 kHz) conectados a una grabadora digital marca M-Audio Microtrack modelo 24/96 que muestreó a una tasa de 96 kHz con 16 bits. Los hidrófonos fueron colocados separados uno del otro a una distancia



de 20 metros en el **Acuario Six Flags** y de 11 metros en el **Acuario Atlantis**. Las **grabaciones nocturnas** para ambos acuarios se efectuaron mediante un hidrófono modelo ST100 (-195±2dB re 1V/μPa de 1Hz a 42kHz) conectado al canal izquierdo de una grabadora digital de cinta DAT marca Sony modelo TCD-D100 que muestreó a una tasa de 48 kHz con 16 bits.

Los datos referentes a las grabaciones acústicas de los dos ciclos de 24 horas fueron registrados en una bitácora, en donde se anotó el número de cinta o memoria, el número de archivo, la hora inicial de la grabación y la duración de la grabación, así como si se escuchó o no un silbido (Tabla 3).

**Tabla 2.** Hora registrada en la bitácora y en el sitio web Weather Underground en la que oscureció y amaneció en cada acuario en los ciclos de 24 horas.

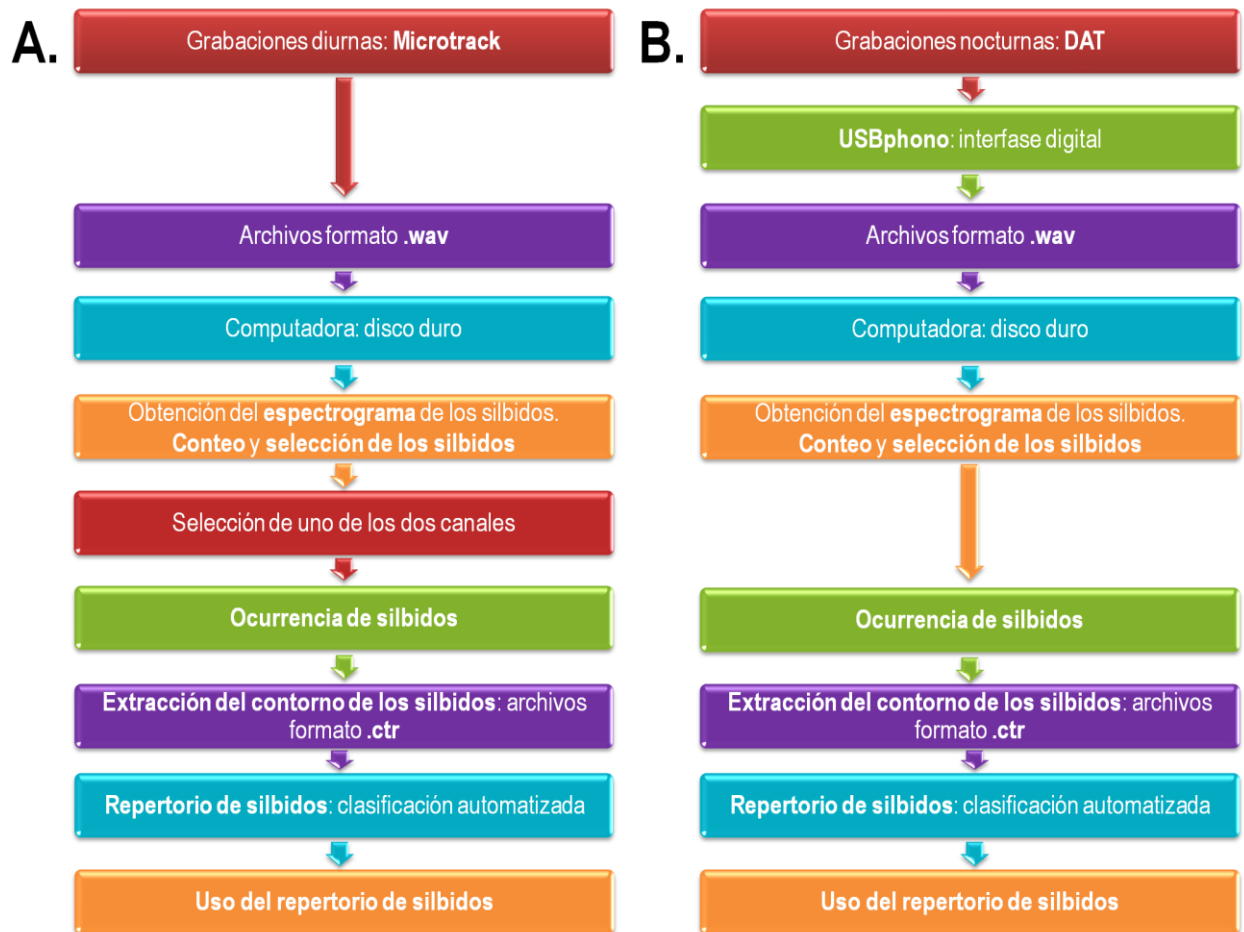
Acuario	Fecha	Bitácora	Bitácora	Weather Underground	Weather Underground
		Oscureció (hora)	Amaneció (hora)	Oscureció (hora)	Amaneció (hora)
<b>Six Flags</b>	13 septiembre 2007	20:33	-	20:28	-
	14 septiembre 2007	-	06:25	-	06:36
<b>Atlantis</b>	01 octubre 2007	20:21	-	20:38	-
	02 octubre 2007	-	06:20	-	06:40
<b>Hora promedio en que oscureció</b>		<b>20:30</b>		<b>20:30</b>	
<b>Hora promedio en que amaneció</b>			<b>06:30</b>		<b>06:30</b>

**Tabla 3.** Esquematización de los datos registrados en la bitácora durante el muestreo del ciclo de 24 horas para cada uno de los acuarios.

NÚM. DE CINTA O MEMORIA	NÚM. DE ARCHIVO	SILBIDO		
		Hora inicial	Duración	Presencia/Ausencia de silbidos

## 4.2. Análisis de datos

La **caracterización de los silbidos** se realizó mediante una serie de pasos consecutivos que se pueden apreciar en la figura 15.



**Figura 15.** Proceso realizado para la caracterización de los silbidos tanto para las grabaciones (A.) diurnas como (B.) para las nocturnas.

#### 4.2.1. Selección de silbidos

Las **grabaciones diurnas** que se efectuaron en la **Microtrack** ya estaban como archivos con **formato .wav**, por lo que se transcribieron directamente de las tarjetas de memoria al **disco duro de una computadora** (Figura 15). Las **grabaciones nocturnas**, aunque también eran digitales, se encontraban en cinta magnética, por lo que tuvieron que ser transferidas al **disco duro de una computadora** utilizando una **interfase digital** denominada **USBphono** y el programa de cómputo CoolEdit versión 96 para Windows que creó los archivos con **formato .wav** (Figura 15). Se crearon archivos con una duración de 0.5 segundos.

Con los archivos con **formato .wav** se **obtuvo el espectrograma de las grabaciones** utilizando el programa de cómputo Raven versión 1.4 para Windows. El **espectrograma** (Figura 6 B, 13) es una representación visual de las variaciones de la frecuencia (eje vertical) a lo largo del tiempo (eje horizontal), describiendo la intensidad del sonido mediante variaciones en la tonalidad de colores o grises. Para calcular el espectrograma, los programas de cómputo realizan la Transformada de Fourier en tiempo corto utilizando algoritmos como la FFT (del inglés Fast Fourier Transform). Por lo tanto, las grabaciones obtenidas tanto con la Microtrack como con la DAT se analizaron mediante espectrogramas calculados con una FFT utilizando una ventana Hamming de 512 puntos con un traslape del 50%.

Este **espectrograma** se utilizó para el **conteo y selección de los silbidos** en cada grabación, visualizando el espectrograma de cada archivo y ubicando cada uno de los silbidos a lo largo de la grabación. Las grabaciones diurnas se visualizaron mediante espectrogramas con “ventanas” de 1.5 segundos (s) de duración o “largo” y 48 kHz de ancho de banda o “alto”. Las grabaciones nocturnas se visualizaron mediante espectrogramas en la pantalla de la computadora con “ventanas” de 1.5 s de duración o “largo” y 24 kHz de ancho de banda o “alto”.

Cada uno de los silbidos ubicados a lo largo de la grabación se guardó en un archivo con una duración de 1.5 s. Sin embargo, si se encontraba algún silbido cuya duración superaba los 1.5 s, entonces se guardaba respetando el tamaño del silbido y se agregaba 0.1 s previo y 0.1 s posterior al silbido.

En esta selección de silbidos se buscó que no estuviesen cortados en la grabación (Bazúa Durán & Au 2002). En el caso de hallarse silbidos consecutivos, éstos se consideraron diferentes silbidos cuando se encontraban separados por más de 200 ms. Además, se consideraron silbidos distintos cuando la intensidad de un silbido era de al menos el doble de la del otro o cuando la frecuencia final del primer silbido y la inicial del segundo era mayor de 3 kHz (Bazúa Durán & Au 2002). Si existía traslape entre silbidos, se consideraban como silbidos distintos, pero se guardaron en el mismo archivo.

Como las **grabaciones diurnas** se realizaron simultáneamente en dos canales, se **seleccionó el silbido del canal** que presentó la mayor claridad en el silbido, es decir, la señal con mayor intensidad y menor reverberación

(especialmente al inicio y final del silbido). Como las **grabaciones nocturnas** se obtuvieron en **un solo canal**, todo silbido identificado en las grabaciones fue considerado para el análisis sin importar su claridad en el silbido.

#### 4.2.2. Ocurrencia de silbidos

La **ocurrencia de silbidos** se calculó con el programa de computo Excel versión 2007 como el número de silbidos emitidos en cada minuto (silbidos / min) para conocer la **distribución de los silbidos en el tiempo**, obteniéndose un histograma que mostró la hora del día a cada minuto dentro del ciclo de 24 horas en el que se emitió cada silbido (número de silbidos en cada minuto), como se ejemplifica en la Tabla 4, y calculándose **varias tasas de emisión** para cuantificar cuando los **tursiones** fueron **acústicamente más activos**:

1. **Tasa de emisión durante 24 horas** para cada acuario
2. **Tasa de emisión durante el periodo diurno** para cada acuario
3. **Tasa de emisión durante el periodo nocturno** para cada acuario
4. **Tasa de emisión durante los periodos** en que los tursiones tuvieron **mayor producción de silbidos**

La **tasa de emisión durante 24 horas** fue calculada de la siguiente manera:

$$\text{Número de silbidos emitidos durante 24 horas} / 1440 \text{ minutos}$$

La **tasa de emisión durante el periodo diurno** fue calculada de la siguiente manera:

$$\text{Número de silbidos emitidos durante los 840 minutos del periodo diurno} / 840 \text{ minutos}$$

La **tasa de emisión durante el periodo nocturno** fue calculada de la siguiente manera:

$$\text{Número de silbidos emitidos durante los 600 minutos del periodo nocturno} / 600 \text{ minutos}$$

La **tasa de emisión durante el periodo de emisión continua de silbidos** fue calculada de la siguiente manera:

$$\text{Número de silbidos emitidos durante los } X \text{ minutos del periodo de emisión continua} / X \text{ minutos}$$

Los **periodos** en que los **tursiones** tuvieron **mayor producción de silbidos** se definieron como la producción de silbidos cuando el **tiempo de silencio entre minutos con silbidos** fue menor a **30 minutos**.

**Tabla 4.** Ejemplo de algunos de los datos ingresados en una hoja de datos del programa de cómputo Excel para obtener el histograma de ocurrencia de silbidos (número de silbidos en cada minuto dentro del ciclo de 24 horas) en los Acuarios Six Flags y Atlantis.

ACUARIO	PERIODO DIURNO O NOCTURNO	HORA DEL CICLO DE 24 HORAS	NÚMERO DEL MINUTO	NÚMERO DE SILBIDOS EN ESE MINUTO
Six Flags	Diurno	07:28	1	0
Six Flags	Diurno	07:29	2	0
Six Flags	Diurno	07:30	3	0
Six Flags	Diurno	08:53	86	5
Six Flags	Diurno	08:54	87	11
Six Flags	Diurno	08:55	88	4
Six Flags	Nocturno	23:00	933	0
Six Flags	Nocturno	23:01	934	0
Six Flags	Nocturno	23:02	935	0
Six Flags	Diurno	7:25	1438	0
Six Flags	Diurno	7:26	1439	0
Six Flags	Diurno	7:27	1440	0
Atlantis	Diurno	10:59	1	4
Atlantis	Diurno	11:00	2	15
Atlantis	Diurno	11:01	3	7
Atlantis	Nocturno	01:57	899	2
Atlantis	Nocturno	01:58	900	5
Atlantis	Nocturno	01:59	901	14
Atlantis	Diurno	06:31	1173	0
Atlantis	Diurno	06:32	1174	4
Atlantis	Diurno	06:33	1175	0
Atlantis	Diurno	10:56	1438	0
Atlantis	Diurno	10:57	1439	0
Atlantis	Diurno	10:58	1440	0

Posteriormente, se determinó el **periodo de fonación** y el **periodo de silencio** en ambos acuarios al calcular el **porcentaje de los 1440 minutos del ciclo de 24 horas** que tuvieron o no **silbidos**, **utilizando los datos** que se ejemplifican en la Tabla 4, para también determinar el **acuario** en donde los **tursiones** fueron **acústicamente más activos**, así como para conocer si los **tursiones** fueron **acústicamente más activos** durante el **periodo diurno** o el **periodo nocturno**.

También se calcularon **estadísticos descriptivos** (**promedio**, **desviación estándar**, **valor mínimo** y **valor máximo**) tanto del **número de silbidos en cada minuto** como del **número de minutos que contenían un cierto número de silbidos** con el programa de cómputo STATISTICA **para cada acuario y para los acuarios en conjunto**, así como para los **periodos diurno y nocturno**.

Para determinar estadísticamente si existían **diferencias en la emisión de silbidos entre los periodos diurno y nocturno**, así como **entre acuarios**, se utilizó tanto el **número de silbidos en cada minuto** como el **número de minutos que contenían un cierto número de silbidos**. Primero se obtuvo un **histograma** tanto del **número de silbidos en cada minuto** (con el programa de cómputo **EXCEL**) como del **número de minutos que contenían un cierto número de silbidos** (con el programa de cómputo **STATISTICA versión 7**) para **visualizar el tipo de distribución** que tenían los datos. Luego se determinó el **tipo de distribución** (distribución simétrica o asimétrica) calculando un **PPCC** (coeficiente de correlación de la probabilidad gráfica, por sus siglas en inglés) o  $\lambda$  con el programa de cómputo **PAST versión 2.04**. El valor de  $\lambda$  obtenido indica qué tan alejados están los datos de la distribución normal y determina el tipo de distribución que tuvieron los datos de acuerdo a los valores que se muestran en la Tabla 5. Cuando el valor de  $\lambda$  no era exactamente el reportado en la Tabla 5, se consideró que la distribución de los datos era aquella cuyo valor de  $\lambda$  reportado en la Tabla 5 fuera el más cercano al valor obtenido. Sin embargo, podría darse el caso en el que el valor de  $\lambda$  calculado estuviera exactamente a la mitad de dos valores reportados en la Tabla 5, por lo que entonces se recomienda utilizar la curva de ajuste que el programa STATISTICA hace en el histograma para determinar la forma de la distribución de los datos.

Si los datos presentaban una **distribución simétrica o normal** se utilizaría una prueba estadística paramétrica denominada **ANDEVA** (Análisis de varianza para un diseño experimental con un factor, o **ANOVA** por sus siglas en inglés) para determinar si existían diferencias en la emisión de silbidos. Si los datos presentaban una **distribución asimétrica** se utilizaría una **prueba no paramétrica** denominada **prueba estadística U de Mann-Whitney** utilizando la **Z ajustada**, debido a que resulta la más apropiada de acuerdo al tamaño de muestra de las bases de datos que se analizaron.

**Tabla 5.** Valores de  $\lambda$  o PPCC (coeficiente de correlación de la probabilidad gráfica, por sus siglas en inglés) obtenidos con el programa de cómputo PAST. Estos valores determinan el tipo de distribución que presentan los datos.

$\lambda$	Tipo de distribución	
-1	Distribución Cauchy	Asimétrica
0	Distribución logística	Asimétrica
0.14	Distribución normal	Simétrica
0.5	Distribución beta (en forma de U)	Asimétrica
1	Distribución uniforme (-1, 1)	Asimétrica
2	Distribución uniforme ( $-1/2, 1/2$ )	Asimétrica

El **ANDEVA** o la **prueba estadística U de Mann-Whitney** se realizaron para comprobar si existían diferencias significativas entre el **número de silbidos en cada minuto** o el **número de minutos que contenían un cierto número de silbidos** (utilizando los datos como los que se ejemplifican en la Tabla 4), considerando que existían diferencias significativas si la  $P \leq 0.05$  para las siguientes comparaciones:

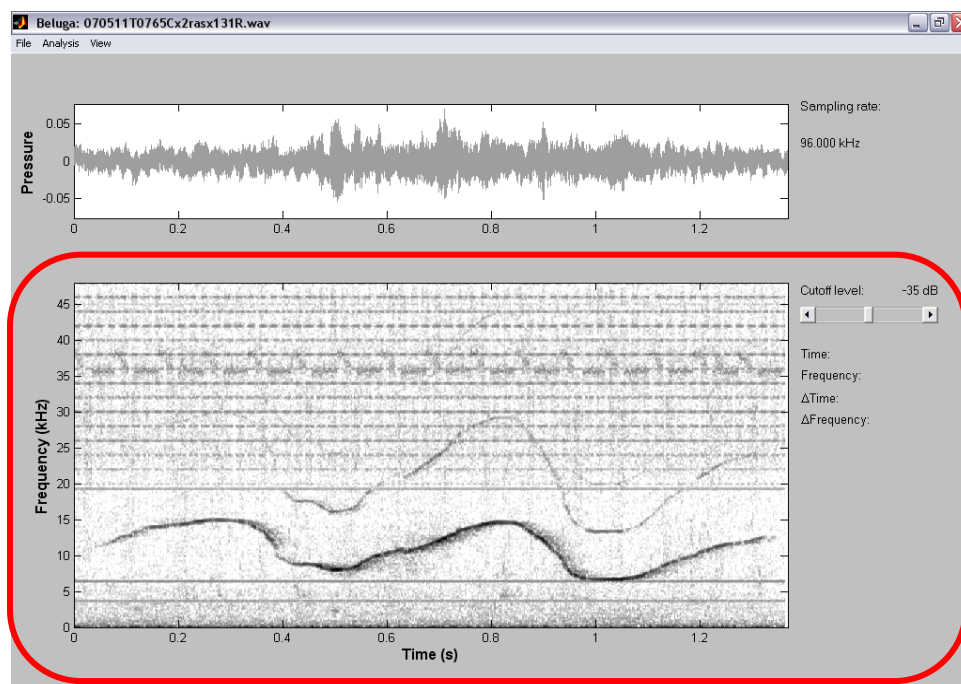
- A. Durante los periodos diurno y nocturno en el **Acuario Six Flags**, es decir, 840 minutos vs. 600 minutos.
- B. Durante los periodos diurno y nocturno en el **Acuario Atlantis**, es decir, 840 minutos vs. 600 minutos.
- C. Durante **los ciclos de 24 horas** en los acuarios **Six Flags y Atlantis**, es decir, 1440 minutos vs. 1440 minutos.
- D. Durante el **periodo diurno** en los acuarios Six Flags y Atlantis, es decir, 840 minutos vs. 840 minutos.
- E. Durante el **periodo nocturno** en los acuarios Six Flags y Atlantis, es decir, 600 minutos vs. 600 minutos.
- F. Durante los periodos diurno y nocturno para los acuarios en conjunto, es decir, 1680 minutos vs. 1200 minutos.

#### 4.2.3. Caracterización del repertorio de silbidos

##### 4.2.3.1. Extracción del contorno de los silbidos

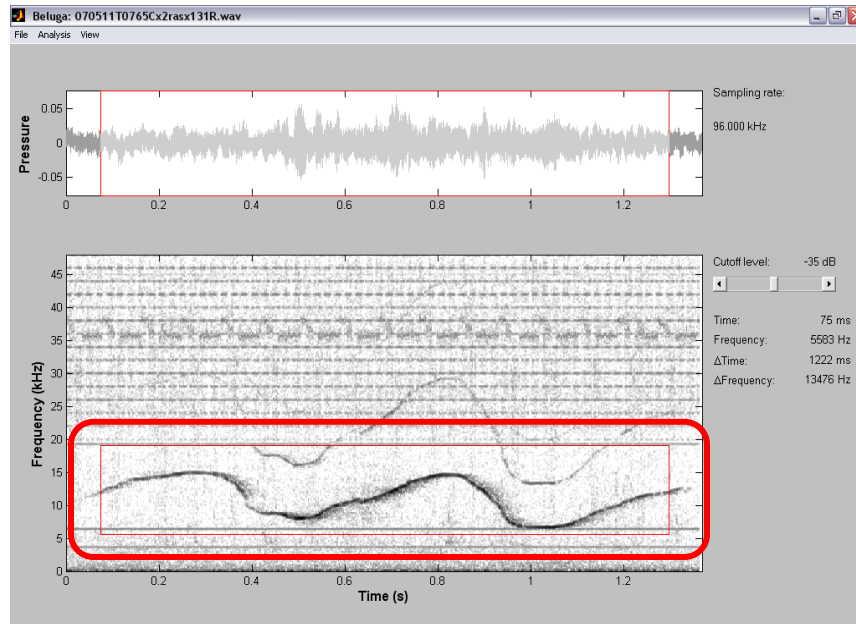
La **extracción del contorno de los silbidos** consistió en la conversión de los archivos de sonido de un formato **.wav** a un formato **.ctr** (Figura 15) utilizando la **subrutina “Beluga” de MATLAB versión 6.5** diseñada por V. B. Deecke (Deecke & Janik 2006) de la siguiente manera:

1. Primero se abrió el archivo de un canal con formato **.wav** (dentro de la subrutina **“Beluga”**: **File > Load sound**) y se calculó su espectrograma mediante la función **“Calculate Spectrogram”** (**“Beluga”**: **Analysis > Calculate Spectrogram**. Se revisó que se tuvieran los siguientes datos: **1024** = FFT size, **512** = Frame length, **50%** = Overlap between frames y **Hamming** = Window function) para obtener la siguiente información:

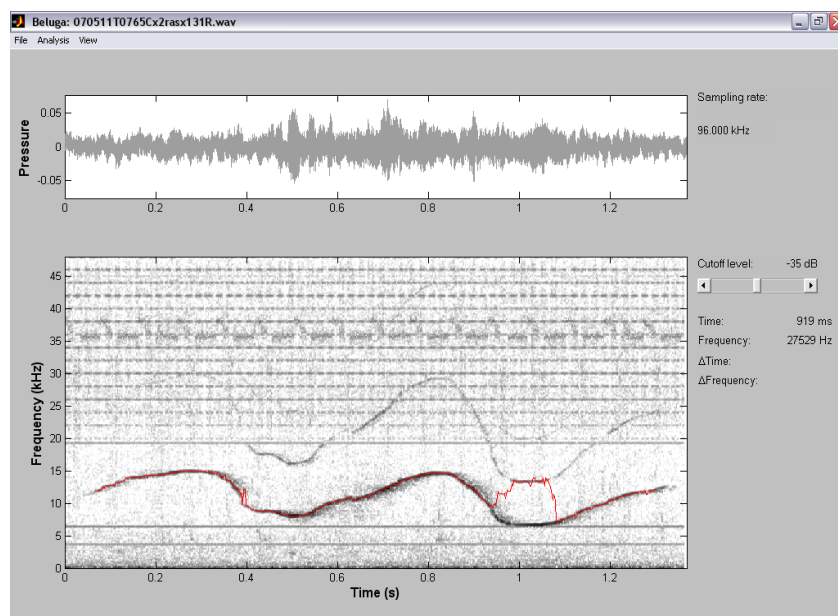




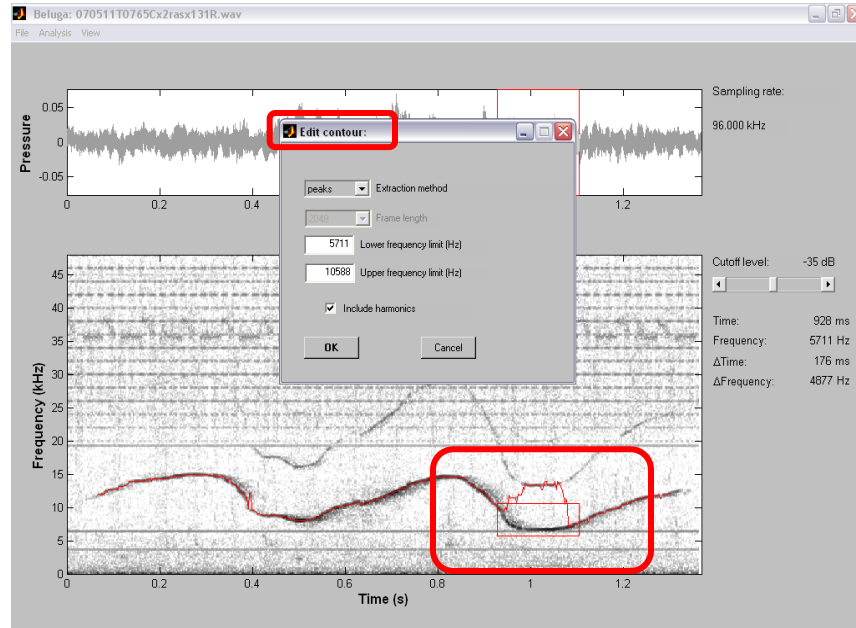
- Después se seleccionó la **frecuencia fundamental** del silbido en el espectrograma utilizando un **recuadro de forma rectangular** que abarcara toda la frecuencia fundamental del silbido, tanto en tiempo como en frecuencia, y excluyendo los armónicos, como se indica a continuación:



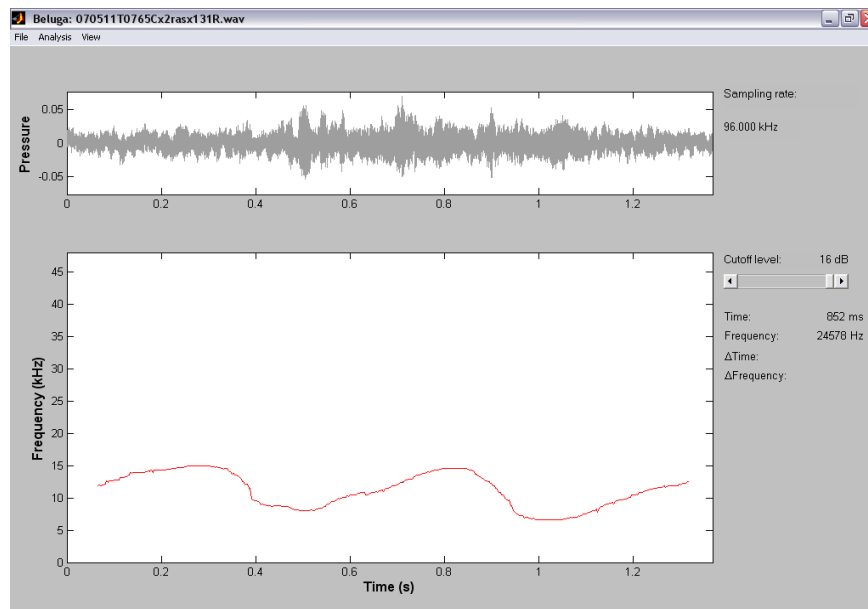
- Luego, se extrajo el contorno del silbido mediante la función "Extract Frequency Contour" ("Beluga": **Analysis > Extract Frequency Contour**). Antes de presionar OK, se deseleccionó el apartado que decía: *include harmonic*) para obtener una línea sobre la frecuencia fundamental del silbido en el espectrograma, como sigue:



4. Posteriormente, se editó el contorno en las secciones donde la línea no recorría la frecuencia fundamental del silbido mediante la función “*Edit Frequency Contour*” (“**Beluga**”: **Analysis > Edit Frequency Contour**) como se muestra a continuación:

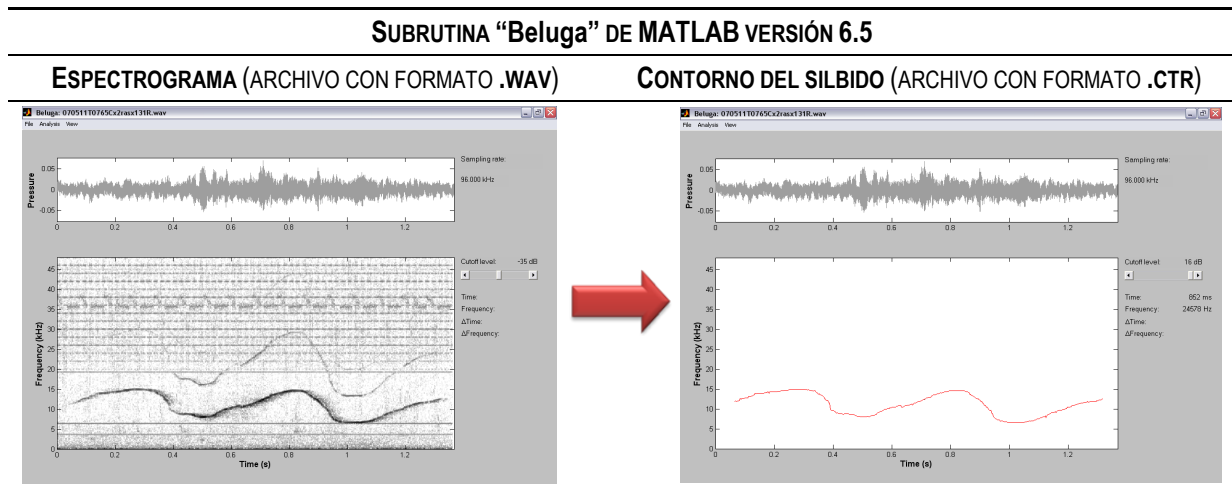


5. Entonces, se obtuvo un contorno del silbido completamente editado y que describía la frecuencia fundamental del silbido. Este contorno se guardó (“**Beluga**”: **File > Save Contour**) utilizando la subrutina “**Beluga**” de **MATLAB** como un archivo en formato **.ctr**. Al eliminar el espectrograma, este archivo en formato **.ctr** se observó como sigue:



En resumen, en la subrutina “Beluga” se visualiza cada silbido, el cual se encuentra en formato **.wav** y se dibuja el contorno de ese silbido. Este contorno se guarda en un archivo con formato **.ctr**. De esta manera, la subrutina “Beluga” convierte los archivos con formato **.wav** en un formato **.ctr** (Tabla 6). Cabe mencionar que es importante realizar este procedimiento de manera cuidadosa, ya que estos nuevos archivos **.ctr** creados con la subrutina “Beluga” se utilizarán posteriormente en la subrutina “ARTwarp” para realizar la clasificación y cualquier error se verá reflejado en la clasificación realizada.

**Tabla 6.** Ejemplificación visual de la conversión de los archivos con formato **.wav** en un formato **.ctr** mediante la subrutina “Beluga” de **MATLAB** versión 6.5 mostrando las pantallas con el espectrograma de los archivos con formato **.wav** y del contorno del silbido con un formato **.ctr**.



#### 4.2.3.2. Obtención del repertorio de silbidos

El **repertorio de los silbidos** se determinó mediante una **clasificación automatizada** (Figura 15) utilizando la subrutina “ARTwarp” de **MATLAB** versión 7 también diseñada por V. B. Deecke (Deecke & Janik 2006). Esta subrutina emplea una red neuronal que incorpora el logaritmo de flexibilidad dinámica en el tiempo (*dynamic time-warping* en inglés, Itakura 1975) con el fin de clasificar los distintos contornos de silbidos en “**neuronas**” que **representan las distintas clases de contornos similares o tipos de silbidos**, creando un **contorno promedio** obtenido a partir de los contornos de silbidos que conforman dicho tipo de silbido (Deecke & Janik 2006). Las “**neuronas**” o **tipos de silbidos** conforman el repertorio de silbidos de los tursiones. Estos tipos de silbidos se **determinaron** de acuerdo a una **medida o porcentaje de similitud**, que en este estudio fue de **90%**.

Con la subrutina “**ARTwarp**” se analizaron los **silbidos** emitidos en el **Acuario Six Flags**, los **silbidos** emitidos en el **Acuario Atlantis** y el **total de silbidos emitidos en los acuarios en conjunto**, por lo que se obtuvieron tres repertorios de silbidos:

1. **Repertorio del Acuario Six Flags**
2. **Repertorio del Acuario Atlantis**
3. **Repertorio de los acuarios Six Flags y Atlantis en conjunto**

El repertorio de los acuarios Six Flags y Atlantis en conjunto se utilizó tanto para comparar los repertorios de silbidos de ambos acuarios como para describir el repertorio de silbidos de todos los tursiones en cautiverio estudiados. Para comparar los repertorios de silbidos de ambos acuarios el repertorio conjunto obtenido se dividió en aquellos tipos de silbidos de cada acuario, los exclusivos de cada acuario y los compartidos entre acuarios.

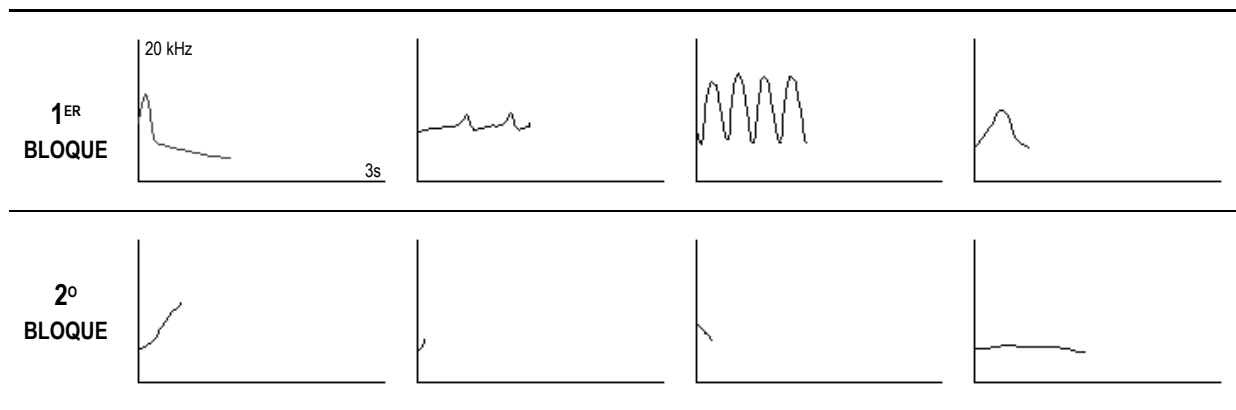
La obtención de cada repertorio de silbidos implicó un cierto número de **iteraciones**. En la primera iteración la subrutina “**ARTwarp**” analizaba todos los contornos de los silbidos (creados con la subrutina “**Beluga**”, Tabla 6) y creaba ciertas “neuronas” (Tabla 7). En la segunda iteración volvía a clasificar cada uno de los contornos de los silbidos en las “neuronas” que ya había creado. Si los contornos de los silbidos no se reclasificaban en una “neurona” distinta a la que ya habían sido clasificados en la primera iteración, la clasificación concluía, es decir, en este caso la clasificación de los contornos de los silbidos se completaría en dos iteraciones. Sin embargo, si algún contorno se reclasificaba en otra “neurona”, entonces la clasificación continuaba a una tercera o subsecuente iteración y finalizaba cuando todos los contornos de los silbidos no eran reclasificados y correspondían a una “neurona” definitiva o cuando el número de iteraciones era de 100. En el presente estudio, la obtención de cada uno de los tres repertorios tuvo una duración de más de 24 horas y se llevó a cabo con 13, 18 y 80 iteraciones, respectivamente.

La subrutina “**ARTwarp**” fue capaz de clasificar todos los contornos de los silbidos de cada acuario en una sola operación (los contornos de silbidos del **Acuario Six Flags** y los contornos de silbidos del **Acuario Atlantis**), mientras que la obtención del repertorio de silbidos para los acuarios en conjunto no se pudo realizar utilizando el total de contornos de silbidos porque después de 100 iteraciones la subrutina “**ARTwarp**” se detuvo, creando únicamente 56 “neuronas” y quedando un remanente de contornos de silbidos reclasificados. Por lo tanto, se procedió a separar los silbidos en dos bloques, considerando aquellos que tuvieran contornos visualmente semejantes cuando la clasificación de los silbidos se realizó para cada acuario. En el primer bloque se agruparon todos aquellos silbidos cuya modulación fue muy variable (de modulación compleja), mientras que en el segundo bloque se agruparon todos aquellos silbidos cuya modulación fue prácticamente lineal, es decir, ascendente, descendente o constante (de modulación simple, Tabla 7). Una vez que se obtuvo el repertorio de silbidos para el

**primer y el segundo bloque se unieron** las “neuronas” obtenidas para crear el **repertorio completo de los silbidos emitidos en 24 horas en los acuarios en conjunto.**

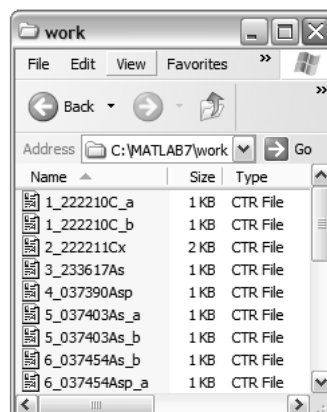
Para mostrar los tipos de silbidos de los tres repertorios, éstos se ordenaron de manera creciente utilizando el número de contornos de silbidos adjudicados a cada tipo de silbido y también considerando que los tipos de forma similar estuvieran juntos. Además, se reportó el repertorio de acuerdo a si los tursiones emitieron silbidos durante el periodo diurno o nocturno, o si los emitieron en ambos periodos.

**Tabla 7.** Ejemplos de los contornos de silbidos utilizados en cada uno de los bloques utilizados para la obtención del repertorio de silbidos de los acuarios en conjunto.

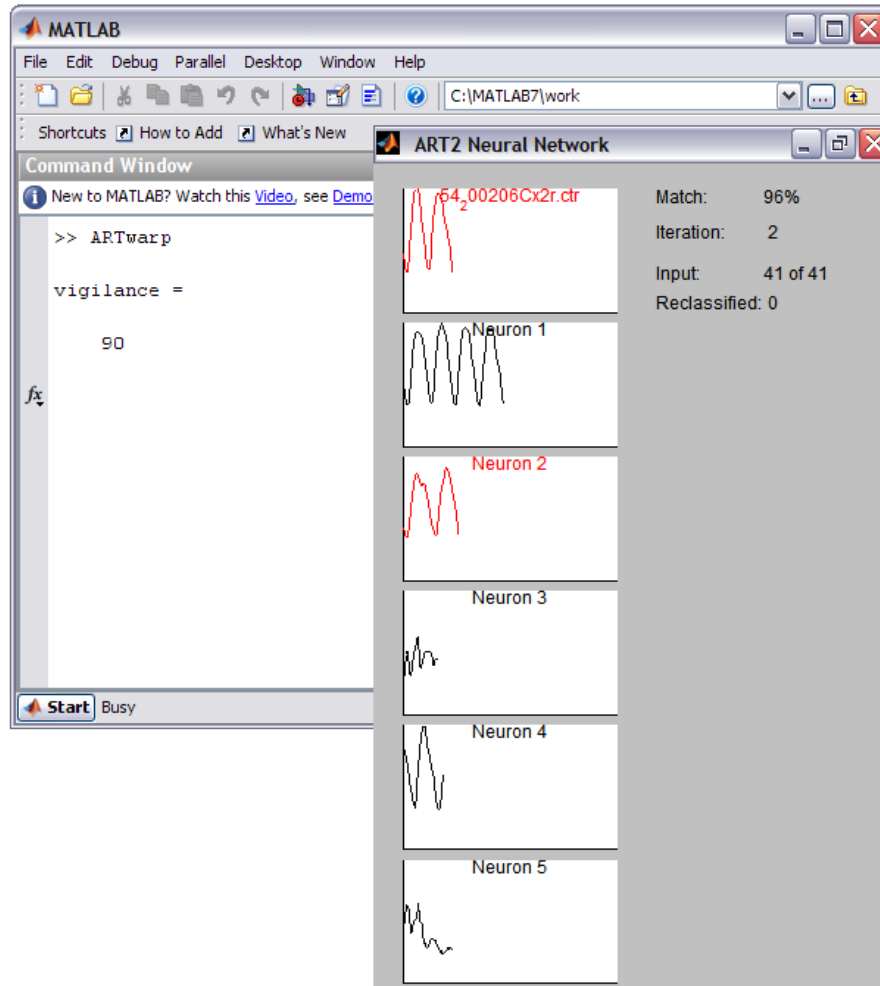


Los **repertorios de silbidos** se obtuvieron con la **subrutina “ARTwarp” de MATLAB versión 7** diseñada por V. B. Deecke (Deecke & Janik 2006) de la siguiente manera:

1. Primero se creó una carpeta llamada **work (C:\MATLAB 7\ work)** donde se copiaron los archivos con formato **.ctr**, que contenían los contornos de los silbidos (creados en la subrutina “**Beluga**”) para realizar su clasificación:



- Después, dentro del programa de cómputo **MATLAB**, en la ventana llamada **Command Window** se escribió: » **ARTwarp** y se presionó ENTER e inmediatamente la subrutina “**ARTwarp**” analizó y clasificó los contornos de los silbidos contenidos en la carpeta llamada **work**:



- Una vez que se completó la clasificación del contorno de los silbidos se escribió dentro del programa de cómputo **MATLAB** el siguiente comando para conocer cuántos contornos de silbidos conformaban la “neurona” 1:

```
>> s= find ([DATA.category] ==1)
```

- Y se obtuvo lo siguiente, lo cual indica que la “neurona” 1 estaba conformada por los cinco contornos de silbidos que se enlistan:

**s =**

**209 238 277 278 418**

5. Posteriormente, para conocer el archivo que correspondía a cada uno de estos cinco contornos de silbidos se escribió:

>> DATA(209).name

6. Y se obtuvo el nombre de uno de los contornos de silbidos que conformaba la “neurona” 1:

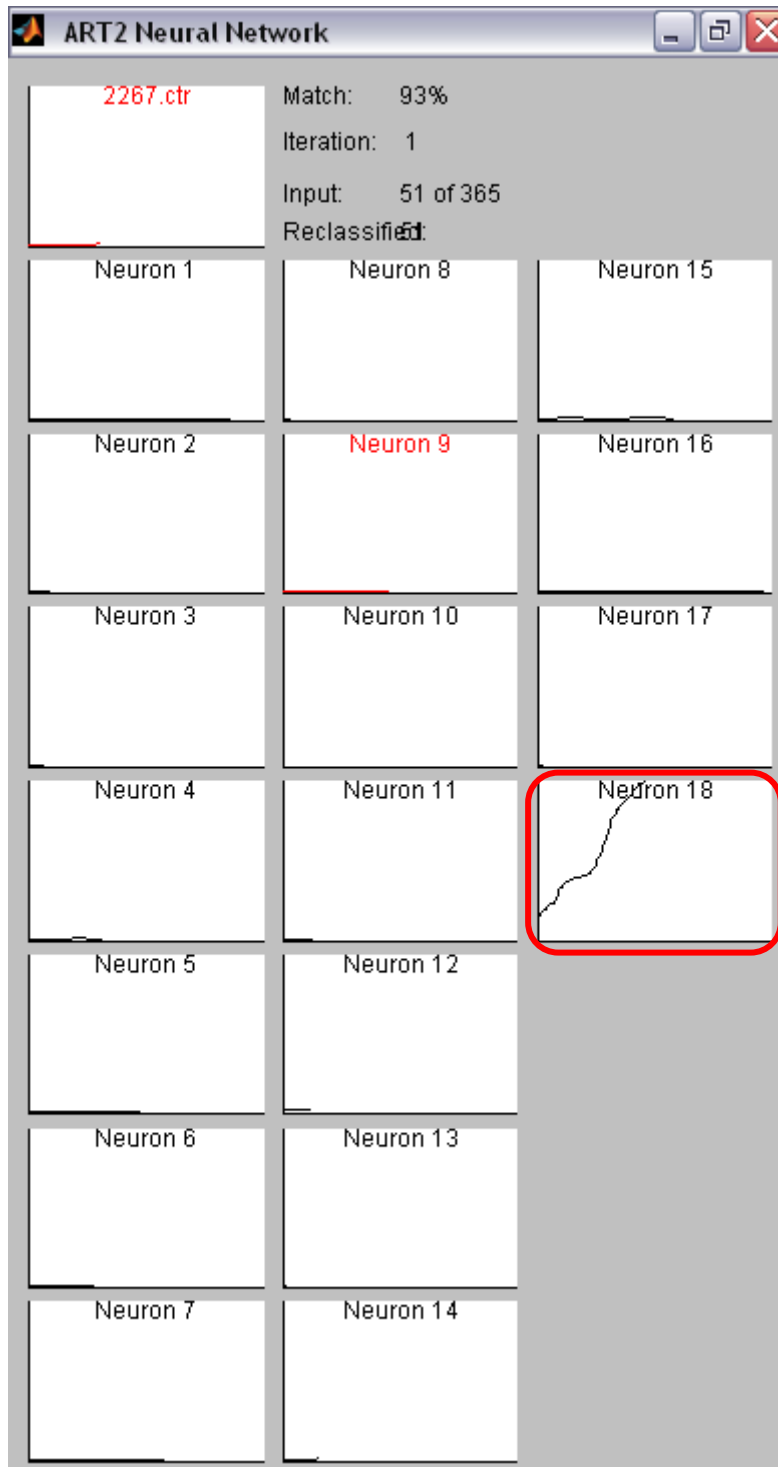
23\_153575As\_a.ctr

Esta operación se repitió hasta identificar todos los archivos de los contornos de los silbidos que conformaban cada “neurona” del repertorio de silbidos para cada uno de los acuarios por separado y para los dos acuarios en conjunto.

Es importante mencionar que se encontró que la subrutina “**Beluga**” no siempre creaba un archivo .ctr correcto y como resultado este archivo .ctr estaba incompleto o dañado. Este archivo dañado provocaba que, aunque la subrutina “**ARTwarp**” seguía supuestamente clasificando los contornos de los silbidos, la clasificación no parecía correcta porque el contorno del archivo .ctr que estaba incompleto o dañado era el único que presentaba un contorno adecuado, o bien la clasificación se detenía completamente. Todos los demás contornos se desplegaban como una línea recta de frecuencia cero con duración variable (Figura 16) y se desplegaba un mensaje de error (Figura 17). Entonces, se ubicó el archivo .ctr que presentaba la alteración, se removió y se realizó nuevamente el archivo .ctr con la subrutina “**Beluga**”. Esta situación ocurrió con poca frecuencia. No ocurrió para los silbidos del **Acuario Six Flags** y ocurrió únicamente con 5.4% de los silbidos analizados para los silbidos del **Acuario Atlantis**. Entonces, fue importante verificar el por qué la subrutina “**ARTwarp**” no estaba operando adecuadamente y considerar que algún error pudiera ser debido a que los archivos .ctr podían estar incompletos o dañados.

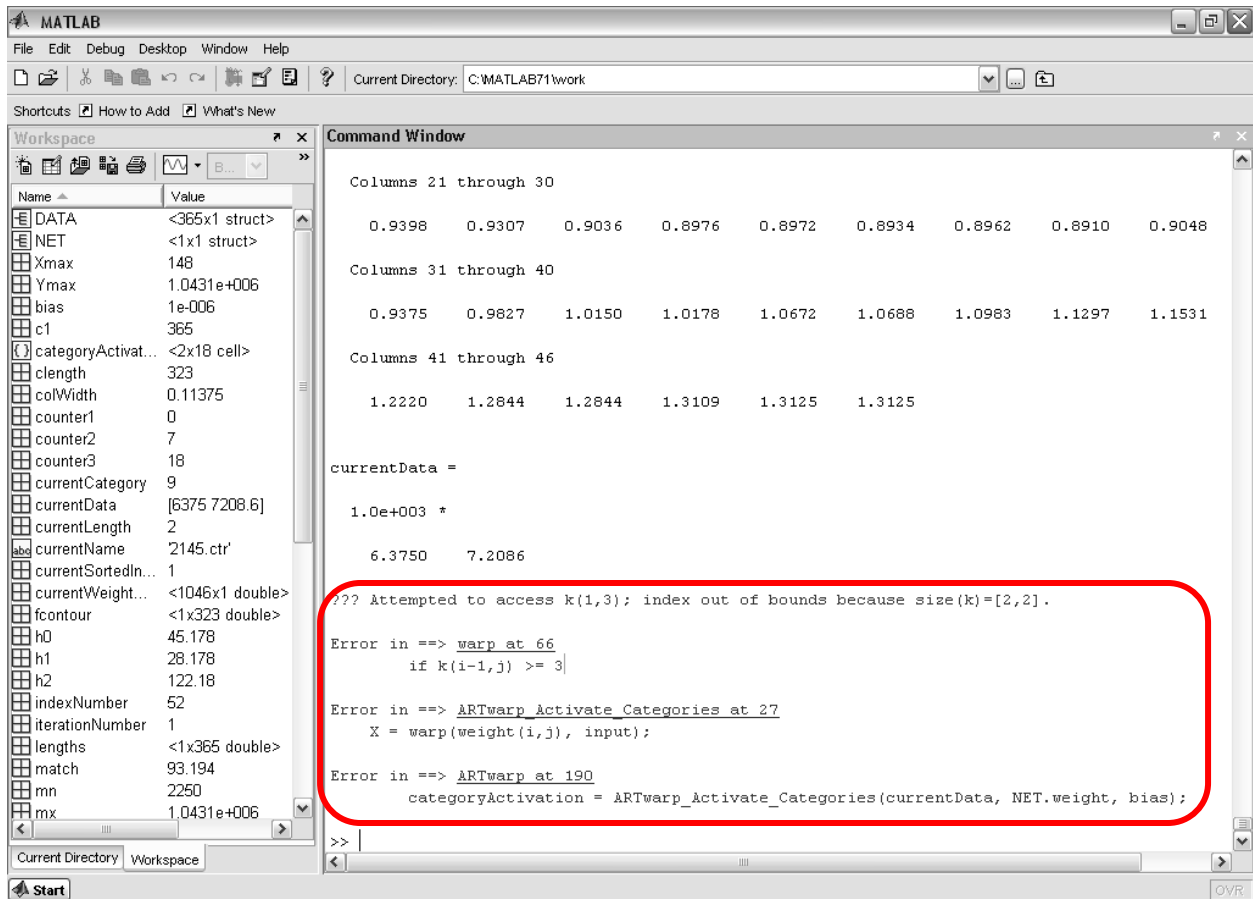
#### 4.2.3.3. *Análisis del repertorio de silbidos*

Para realizar el **análisis del repertorio de silbidos** de los tursiones primero se determinó el **tamaño del repertorio** al contabilizar el **número total de tipos de silbidos** que integraban el **repertorio de cada acuario** (1. Repertorio del **Acuario Six Flags** y 2. Repertorio del **Acuario Atlantis**) y de los **dos acuarios en conjunto** (3. Repertorio de los acuarios Six Flags y Atlantis en conjunto), separando los **tipos de silbidos** de acuerdo a si habían sido emitidos durante el **periodo diurno** o **nocturno** y, para el **repertorio conjunto**, también en qué **acuario** y en qué **periodo** habían sido emitidos. Este **número de tipos de silbidos** se comparó entre **acuarios** y entre **periodos** para determinar **en cuál acuario o periodo se tuvo un repertorio de mayor variabilidad total**. Mientras **mayor** fuera el **número de tipos de silbidos** del repertorio **mayor** fue la **variabilidad** total del repertorio de silbidos y viceversa.



**Figura 16.** Clasificación incorrecta realizada con la subrutina “ARTwarp” donde se puede apreciar que la “neurona” o tipo de silbido 18 contiene el archivo .ctr incompleto o dañado. Este archivo ocasionó que la clasificación se detuviera y que los otros contornos de los silbidos promedio se alteraran, desplegándose como una línea recta de frecuencia cero con duración variable.





**Figura 17.** Leyenda que aparece en el programa de cómputo **MATLAB** cuando ya no podía continuar realizando la clasificación de los contornos de los silbidos con la subrutina “**ARTwarp**”, indicando el tipo de error ocasionado debido a la presencia de un archivo .ctr incompleto o dañado.

Otra forma de medir la **variabilidad del repertorio de silbidos** fue calcular la **proporción del número de tipos de silbidos entre el número de silbidos** utilizados para hacer la clasificación, que en este estudio se denominó **variabilidad proporcional**. Si esta **proporción** era **pequeña** indicaba que el repertorio era **proporcionalmente poco variable** y si esta **proporción** era **grande** indicaba que el repertorio era **proporcionalmente muy variable**.

Finalmente, se describió la **complejidad del repertorio** al reclasificar los **tipos de silbidos** en **categorías más generales** para obtener una **nueva clasificación** que describía qué tan **compleja** o **simple** fue la **modulación de los silbidos** emitidos por los **tursiones**. Otros estudios han clasificado los silbidos en ascendente, descendente, constante, convexo, cóncavo y sinusoidal (Bazúa Durán & Au 2002, Bazúa Durán 2004, Cook *et al.* 2004, Azevedo & Van Sluys 2005, López Rivas 2010, Díaz López 2011). Realizar esta clasificación no siempre es una tarea sencilla

porque los silbidos son un continuo y estas categorías son discretas (Bazúa Durán & Au 2002). Por ello, en el presente estudio se escogió una **nueva forma de clasificación de los silbidos**, la cual no se encontró reportada en ningún estudio previo y con la que los tipos de silbidos se agruparon en un menor número de categorías (cuatro en vez de seis). Esta nueva clasificación consistió en agrupar **los tipos de silbidos en cuatro categorías generales** de acuerdo a su modulación (Tabla 8), de la siguiente manera:

#### **A. Silbidos con modulación compleja:**

**A.1. Silbidos complejos con gran modulación:** conformada por las categorías cuyos contornos incrementaban en frecuencia y luego decrecían más de dos veces o viceversa, teniendo tres o más puntos de inflexión.

**A.2. Silbidos complejos con poca modulación:** conformada por las categorías cuyos contornos incrementaban en frecuencia y luego decrecían una sola vez o viceversa, teniendo uno o dos puntos de inflexión. Cuando un contorno tuviera tres o más puntos de inflexión, pero con una tendencia a ser ascendente o descendente, o si antes o después de un punto de inflexión la modulación en frecuencia fuera menor a la mitad del ancho de banda del silbido, se consideró como un contorno de poca modulación.

#### **B. Silbidos con modulación simple:**

**B.1. Silbidos simples con modulación lineal larga:** conformada por las categorías cuyos contornos presentaban un cambio lineal en la frecuencia (constante, ascendente o descendente) con duración mayor a 1 s.

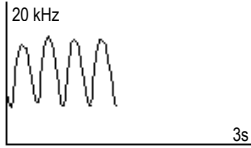



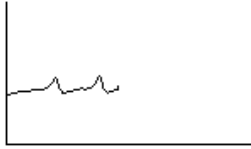
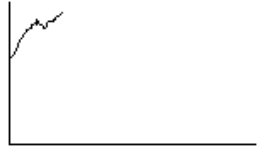
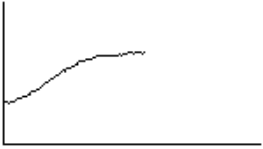

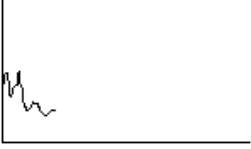

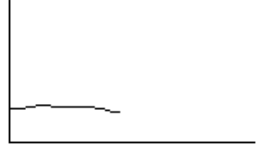

**B.2. Silbidos simples con modulación lineal corta:** conformada por las categorías cuyos contornos presentaban un cambio lineal en la frecuencia (constante, ascendente o descendente) con duración menor a 1 s.

Los silbidos con modulación simple se dividieron de acuerdo a su duración porque los silbidos o eran muy cortos o eran muy largos; no se encontraron silbidos de duración media.

Para comparar la **complejidad del repertorio** entre **acuarios** y entre **periodos** se contabilizó el **número de tipos de silbidos** que integraban cada una de estas **cuatro categorías generales** y se realizó una **prueba de X<sup>2</sup>** (Durán *et al.* 2008) para ver si existían **diferencias estadísticamente significativas** en el **número de tipos de silbidos**

por **categoría general** de acuerdo al **periodo diurno y nocturno** y de acuerdo al **acuario**, considerando que existían diferencias significativas si la  $P \leq 0.01$ .

**Tabla 8.** Categorías generales visualmente semejantes: silbidos complejos con gran modulación, silbidos complejos con poca modulación, silbidos simples con modulación lineal larga y silbidos simples con modulación lineal corta.

CATEGORÍA COMPLEJA		CATEGORÍA SIMPLE	
SILBIDOS COMPLEJOS CON GRAN MODULACIÓN	SILBIDOS COMPLEJOS CON POCA MODULACIÓN	SILBIDOS SIMPLES CON MODULACIÓN LINEAL LARGA	SILBIDOS SIMPLES CON MODULACIÓN LINEAL CORTA
			
			
			

Posteriormente, se calculó un **valor de complejidad** asignándole un **peso** a cada tipo de silbido de acuerdo a su categoría general (Tabla 9). El **número de tipos de silbidos correspondiente a cada una de las cuatro categorías generales** se multiplicó por el peso para esa categoría general, luego se **sumaron** estos valores para cada categoría general y el total se **dividió** entre el **valor máximo de complejidad** que se puede obtener para un cierto tamaño de repertorio (Tabla 10). El valor máximo de complejidad es el número de tipos de silbidos por cuatro. Así, se obtuvo una fracción que indicó el **valor de complejidad**. Si el **valor de complejidad** se encontraba más cerca de **uno**, entonces indicaba que el **repertorio era complejo**. Si el **valor de complejidad** estaba más cerca del **cero**, entonces indicaba que el **repertorio era simple**. Si el **valor de complejidad** era de **0.625**, entonces el **repertorio era igualmente complejo que simple**.

**Tabla 9.** Peso asignado a cada categoría general de modulación para calcular el valor de complejidad del repertorio de silbidos.

FRECUENCIA	PESO
CATEGORÍA COMPLEJA CON GRAN MODULACIÓN	4
CATEGORÍA COMPLEJA CON POCA MODULACIÓN	2
CATEGORÍA SIMPLE CON MODULACIÓN LINEAL LARGA	3
CATEGORÍA SIMPLE CON MODULACIÓN LINEAL CORTA	1

**Tabla 10.** Ejemplificación del cálculo del valor de complejidad.

ACUARIO	PERIODO		MODULACIÓN COMPLEJA		MODULACIÓN SIMPLE		TOTAL
			SILBIDOS COMPLEJOS CON GRAN MODULACIÓN	SLBIDOS COMPLEJOS CON POCA MODULACIÓN	SILBIDOS SIMPLES CON MODULACIÓN LINEAL LARGA	SILBIDOS SIMPLES CON MODULACIÓN LINEAL CORTA	
SIX FLAGS	CICLO DE 24 HORAS	NÚMERO DE TIPOS DE SILBIDOS	7	14	0	17	38
		VALOR DE COMPLEJIDAD MÁXIMO					$38 * 4 = 152$
		VALOR DE COMPLEJIDAD	$(4 * 7) = 28$	$(3 * 14) = 42$	$(2 * 0) = 0$	$(1 * 17) = 17$	$87 / 152 = 0.572$

Específicamente, se contabilizaron los **tipos de silbidos** para el **repertorio de los acuarios en conjunto** para determinar la **variabilidad** y **complejidad** del repertorio de los:

- A. Tipos de silbidos que se presentaron durante todo el **ciclo de 24 horas** en cada acuario
- B. Tipos de silbidos que se presentaron durante el periodo diurno en cada acuario
- C. Tipos de silbidos que se presentaron durante el periodo nocturno en cada acuario
- D. Tipos de silbidos que se presentaron **exclusivamente** en el **Acuario Six Flags**
- E. Tipos de silbidos que se presentaron **exclusivamente** en el **Acuario Atlantis**
- F. Tipos de silbidos que se presentaron en **ambos acuarios**
- G. Tipos de silbidos que se presentaron **exclusivamente** durante el **periodo diurno**
- H. Tipos de silbidos que se presentaron **exclusivamente** durante el **periodo nocturno**
- I. Tipos de silbidos que se presentaron durante **ambos periodos**, diurno y nocturno

#### 4.2.4. Uso del repertorio de silbidos

##### 4.2.4.1. Análisis del uso del repertorio de silbidos

Para **determinar diferencias** en el **uso** que los **tursiones de cada acuario** hicieron de los **distintos tipos de silbidos** de acuerdo al acuario y al **periodo** y para el **repertorio conjunto** se contaron el **número de silbidos** analizados que correspondían a cada **tipo de silbido** y se **calculó** su **porcentaje** con respecto al **número total de silbidos** analizados. Si este **porcentaje** era **grande**, el **uso** de ese **tipo de silbido** fue **mayor y viceversa**. Además, el valor de **variabilidad proporcional** calculado para el repertorio de silbidos también indicó qué tan frecuentemente los tursiones utilizaron los tipos de silbidos, es decir, una variabilidad proporcional **pequeña** indicó que los tipos de silbidos del repertorio se usaron frecuentemente, mientras que si era **grande** indicó que los tipos de silbidos del repertorio se usaron pocas veces.

Además, también se contabilizó el **número de silbidos** para cada una de las **cuatro categorías generales** y se **determinaron diferencias** en el **uso** que los **tursiones de cada acuario** hicieron de las cuatro categorías generales **de silbidos** de acuerdo al **periodo** y, para el **repertorio conjunto**, también de acuerdo al **acuario** y al **periodo**. Estas diferencias se determinaron estadísticamente mediante una **prueba de X<sup>2</sup>** (Durán *et al.* 2008) considerando que existían diferencias significativas si la  $P \leq 0.01$ .

##### 4.2.4.2. Índice de riqueza del uso del repertorio de silbidos

Finalmente, se calculó un **índice de riqueza** para **evaluar el uso de los silbidos** emitidos por los tursiones de ambos acuarios. Este **índice de riqueza** está basado en el índice de diversidad de Shannon (1948) y la equitabilidad aplicándose la teoría de la información (López Rivas 2010). Este índice se utiliza en ecología para estimar la diversidad y originalmente fue utilizado para medir 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 (López Rivas 2010).

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 (López Rivas 2010):

BDCBCECCADBDDAEEEEADBBE

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 (López Rivas 2010):

AAADCBDCCEAADADACEDAAABC

Si la probabilidad de eventos sucesivos no fuera independiente, la secuencia tendría una estructura mucho más compleja (López Rivas 2010).

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 (López Rivas 2010):

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

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

$N$  = 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 diversidad 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  $E$  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 (López Rivas 2010), hasta llegar a tener un valor de equitabilidad de cero cuando un símbolo es el único que ocurre.

Para el presente estudio, el índice de diversidad de Shannon (1948) representa el uso del repertorio (también denominado nivel de diversidad), por lo que de acuerdo a López Rivas (2010):

$i$  = cada uno de los tipos de silbidos del repertorio

$S$  = tamaño del repertorio o el número total de tipos de silbidos del repertorio

$p_i$  = proporción de silbidos  $i$  en el repertorio

$N_i$  = número de silbidos  $i$

$N$  = número total de silbidos analizados.

Entonces, mientras más **pequeño** sea el **valor de  $H'$**  con respecto al valor de  $H_{\max}$  o mientras más cercano a cero sea el valor de equitabilidad se tiene que los tursiones utilizaron algunos tipos de **silbidos** con **mayor frecuencia** que otros, es decir, algunos **tipos de silbidos** fueron **dominantes** en el **uso**. Mientras más **grande** sea el **valor de  $H'$**  con respecto al valor de  $H_{\max}$  y mientras más cercano a uno sea el valor de equitabilidad se tiene que los tursiones utilizaron varios tipos de **silbidos** con la **misma frecuencia**, es decir, **no existieron tipos de silbidos dominantes** en el **uso**.

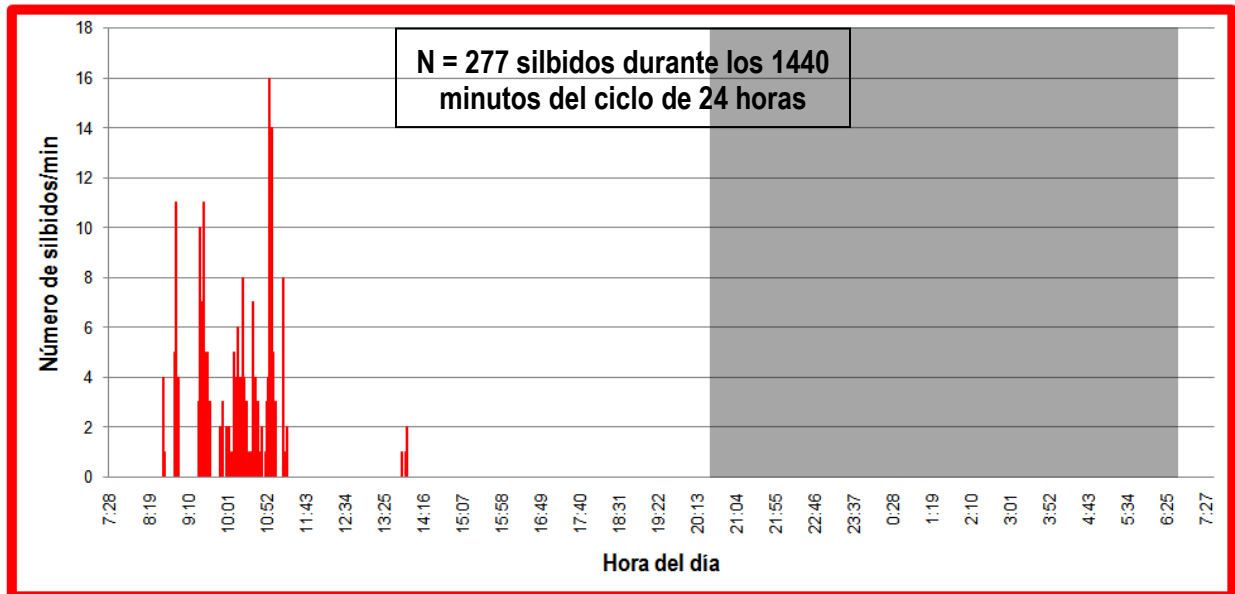
## 5. RESULTADOS

### 5.1. Ocurrencia de silbidos

Durante el ciclo de 24 horas se obtuvo un total de **1440 minutos** de grabaciones acústicas para cada uno de los acuarios, es decir, se analizaron **2880 minutos** de grabaciones acústicas en total.

#### 5.1.1. Acuario Six Flags

Los tursiones del **Acuario Six Flags** emitieron un total de **277 silbidos en los 1440 minutos**, los cuales se registraron únicamente durante el **periodo diurno** entre las **08:38 y las 13:55 horas** (Tabla 11, Figura 18). De estos **277 silbidos diurnos**, el **98.6%** (273 silbidos) fueron emitidos entre las **08:38 y las 11:20 horas**, con una tasa de emisión de **1.7±2.7 silbidos/min** (273 silbidos / 163 minutos) y una tasa de emisión **máxima** de **16 silbidos/min** (Tabla 12). Los **tursiones del Acuario Six Flags no emitieron ningún silbido después de las 13:55 horas**, por lo que el **periodo de fonación** de los 277 silbidos para el **Acuario Six Flags** fue de 78 minutos con silbidos (equivalente a **5.4%** de los 1440 minutos, Tabla 11), mientras que el **periodo de silencio** fue de 1362 minutos sin silbidos (equivalente a **94.6%** de los 1440 minutos). El **periodo continuo de silencio** más largo fue de **18.7 horas** (de las 13:55 a las 07:27 horas), representando el **77.9%** (1122 minutos) de los 1440 minutos del ciclo de 24 horas. Entonces, en el **Acuario Six Flags** los tursiones emitieron **0.2±1.1 silbidos/min** en el **ciclo de 24 horas** y únicamente durante el **periodo diurno** (Tabla 12, Figura 19), principalmente en la **mañana**.



**Figura 18.** Ocurrencia de silbidos en el **Acuario Six Flags** que muestra la hora del día a cada minuto dentro del ciclo de 24 horas. La región sombreada indica las horas sin luz (periodo nocturno). El muestreo comenzó a las 07:28 horas y terminó a las 07:27 horas del día siguiente.

Al considerar el **número de silbidos en cada minuto** durante los 1440 minutos del ciclo de 24 horas en el **Acuario Six Flags** se puede observar que la **distribución del número de silbidos en cada minuto estaba corrida hacia la izquierda tanto para el periodo diurno como para el ciclo de 24 horas**, lo cual indicó que la **distribución fue asimétrica** (Figura 18). Al calcular el **PPCC** (coeficiente de correlación de la probabilidad gráfica, por sus siglas en inglés) se obtuvo: **0.42** para todo el **ciclo de 24 horas**, **0.51** para el **periodo diurno** y **0.00** para el **periodo nocturno** (Tabla 12), lo que representó un **tipo de distribución beta**, es decir, en forma de U o cóncava (Tabla 5) del número silbidos en cada minuto emitidos en el **Acuario Six Flags** durante el ciclo de 24 horas y durante el periodo diurno. Los datos no tuvieron ningún tipo de distribución para el periodo nocturno en el **Acuario Six Flags** porque los tursiones no silbaron durante la noche. Entonces, la comparación de la tasa de emisión (**número de silbidos en cada minuto**) diurna y nocturna del **Acuario Six Flags** se realizó con una **prueba U de Mann Whitney** y se encontraron diferencias significativas en las tasas de emisión entre los periodos diurno y nocturno del **Acuario Six Flags** (Tabla 13, Figura 19), obviamente porque la tasa de emisión de silbidos durante el periodo nocturno fue de cero.



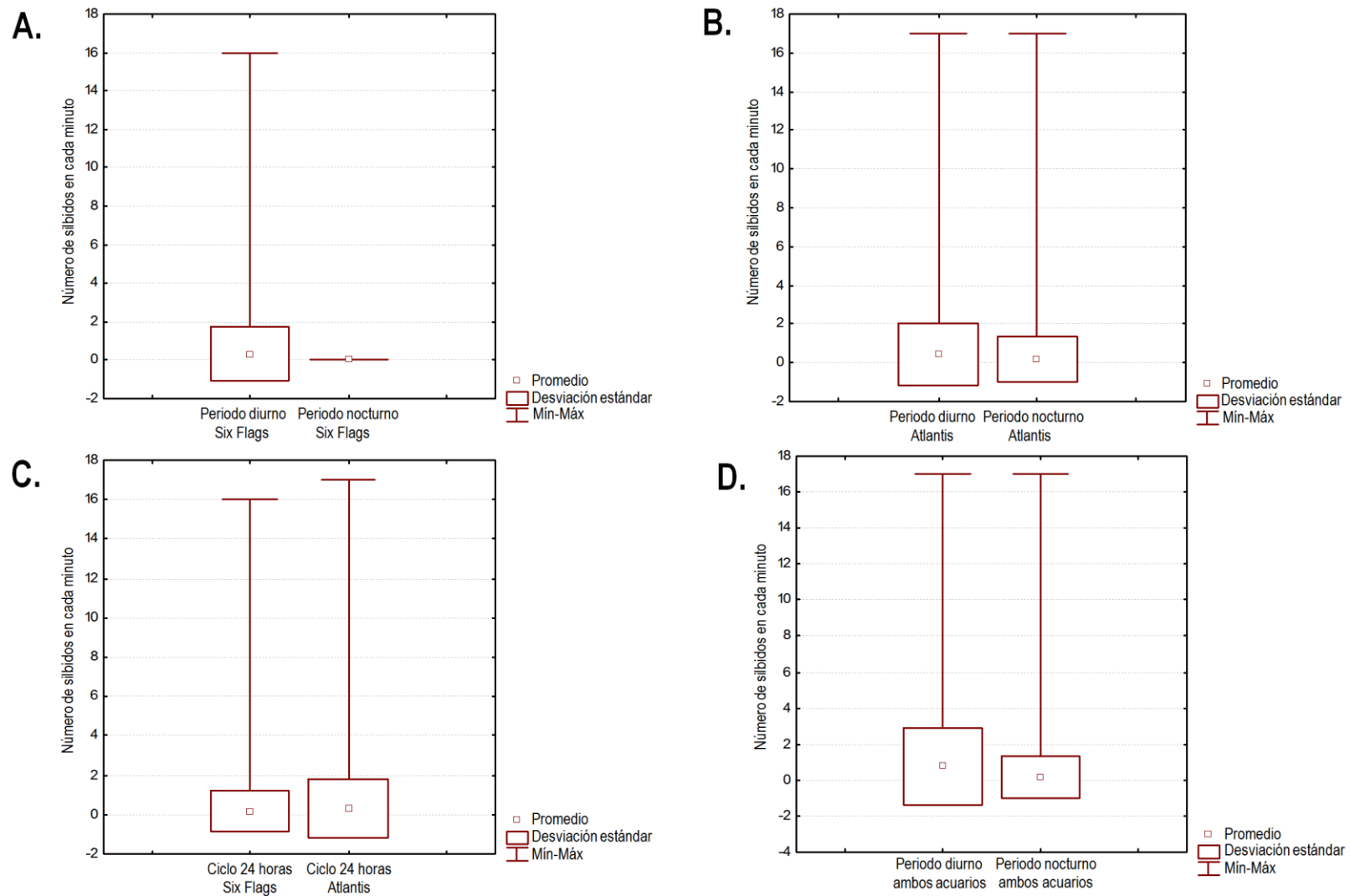
**Tabla 11.** Hora del día durante el ciclo de 24 horas a la que fueron emitidos los silbidos en el **Acuario Six Flags**, mostrando el número de silbidos y el número de minuto de los 1440 minutos en el que se emitieron los silbidos.

ACUARIO	HORA DEL CICLO DE 24 HORAS	NÚMERO DE MINUTO	NÚMERO DE SILBIDOS	HORA DEL CICLO DE 24 HORAS	NÚMERO DE MINUTO	NÚMERO DE SILBIDOS	HORA DEL CICLO DE 24 HORAS	NÚMERO DE MINUTO	NÚMERO DE SILBIDOS	HORA DEL CICLO DE 24 HORAS	NÚMERO DE MINUTO	NÚMERO DE SILBIDOS
Six Flags	08:38	71	4	09:38	131	3	10:21	174	8	10:52	205	1
Six Flags	08:40	73	1	09:39	132	3	10:22	175	2	10:53	206	3
Six Flags	08:53	86	5	09:53	146	2	10:23	176	3	10:54	207	4
Six Flags	08:54	87	11	09:54	147	1	10:24	177	4	10:55	208	2
Six Flags	08:55	88	4	09:56	149	3	10:25	178	3	10:56	209	6
Six Flags	08:56	89	2	10:01	154	2	10:27	180	3	10:57	210	16
Six Flags	08:57	90	4	10:02	155	2	10:28	181	1	10:58	211	1
Six Flags	08:58	91	4	10:04	157	2	10:31	184	1	11:00	213	14
Six Flags	09:25	118	3	10:05	158	1	10:33	186	1	11:02	215	5
Six Flags	09:26	119	10	10:09	162	1	10:35	188	7	11:03	216	1
Six Flags	09:27	120	7	10:10	163	5	10:36	189	4	11:04	217	1
Six Flags	09:28	121	6	10:11	164	3	10:37	190	2	11:05	218	3
Six Flags	09:29	122	7	10:12	165	3	10:38	191	4	11:15	228	8
Six Flags	09:30	123	3	10:13	166	4	10:39	192	1	11:16	229	1
Six Flags	09:31	124	11	10:15	168	6	10:40	193	1	11:20	233	2
Six Flags	09:32	125	5	10:16	169	2	10:41	194	2	13:49	382	1
Six Flags	09:34	127	3	10:17	170	4	10:42	195	3	13:54	387	1
Six Flags	09:35	128	5	10:18	171	1	10:45	198	1	13:55	388	2
Six Flags	09:36	129	2	10:19	172	4	10:46	199	1			
Six Flags	09:37	130	1	10:20	173	1	10:47	200	2			
<b>TOTAL</b>											<b>78*</b>	<b>277</b>
<b>PROMEDIO</b>										<b>10:19</b>		<b>3.6</b>
<b>DESVIACIÓN ESTÁNDAR</b>										<b>±00:59</b>		<b>±3.0</b>

\* Número de minutos con silbidos, que son el periodo de fonación

**Tabla 12.** Estadísticos descriptivos (promedio, desviación estándar, valor mínimo y valor máximo) y el PPCC (coeficiente de correlación de la probabilidad gráfica, por sus siglas en inglés) del número de silbidos en cada minuto (tasa de emisión) emitidos tanto en el **Acuario Six Flags** como en el **Acuario Atlantis** durante el ciclo de 24 horas, durante los periodos diurno y nocturno, durante los periodos de mayor emisión de silbidos y para los acuarios en conjunto.

ACUARIO	PERIODO	NÚMERO DE SILBIDOS	NÚMERO DE MINUTOS	NÚMERO DE HORAS	NÚMERO DE MINUTOS CON SILBIDOS	PERIODO DE FONACIÓN (%)	TASA DE EMISIÓN (SILBIDOS/MIN)				PPCC
							PROMEDIO	DESVIACIÓN ESTÁNDAR	VALOR MÍNIMO	VALOR MÁXIMO	
ACUARIO SIX FLAGS	Ciclo de 24 horas	277	1440	24.00	78	5.4	0.2	±1.1	0	16	0.42
	Periodo diurno	277	840	14.00	78	9.3	0.3	±1.4	0	16	0.51
	Periodo nocturno	0	600	10.00	0	0.0	0.0	±0.0	0	0	0.00
	08:38-11:20	273	163	2.72	75	46.0	1.7	±2.7	0	16	-
	13:49-13:55	4	7	0.12	3	42.9	0.6	±0.8	0	2	-
ACUARIO ATLANTIS	Ciclo de 24 horas	447	1440	24.00	112	7.8	0.3	±1.5	0	17	0.47
	Periodo diurno	358	840	14.00	94	11.2	0.4	±1.6	0	17	0.54
	Periodo nocturno	89	600	10.00	18	3.0	0.2	±1.2	0	17	0.33
ACUARIO ATLANTIS	10:59-11:30	192	32	0.53	30	93.8	6.0	±4.3	0	17	-
	12:35-14:02	51	88	1.47	26	29.6	0.6	±1.1	0	4	-
	01:51-02:05	76	15	0.25	12	80.0	5.1	±5.4	0	17	-
	06:30-07:26	115	57	0.95	38	66.7	2.0	±2.2	0	8	-
ACUARIOS EN CONJUNTO	Ciclo de 24 horas	724	2880	48.00	190	6.6	0.3	±1.3	0	17	0.45
	Periodo diurno	635	1680	28.00	172	10.2	0.4	±1.5	0	17	0.52
	Periodo nocturno	89	1200	20.00	18	1.5	0.1	±0.8	0	17	0.25



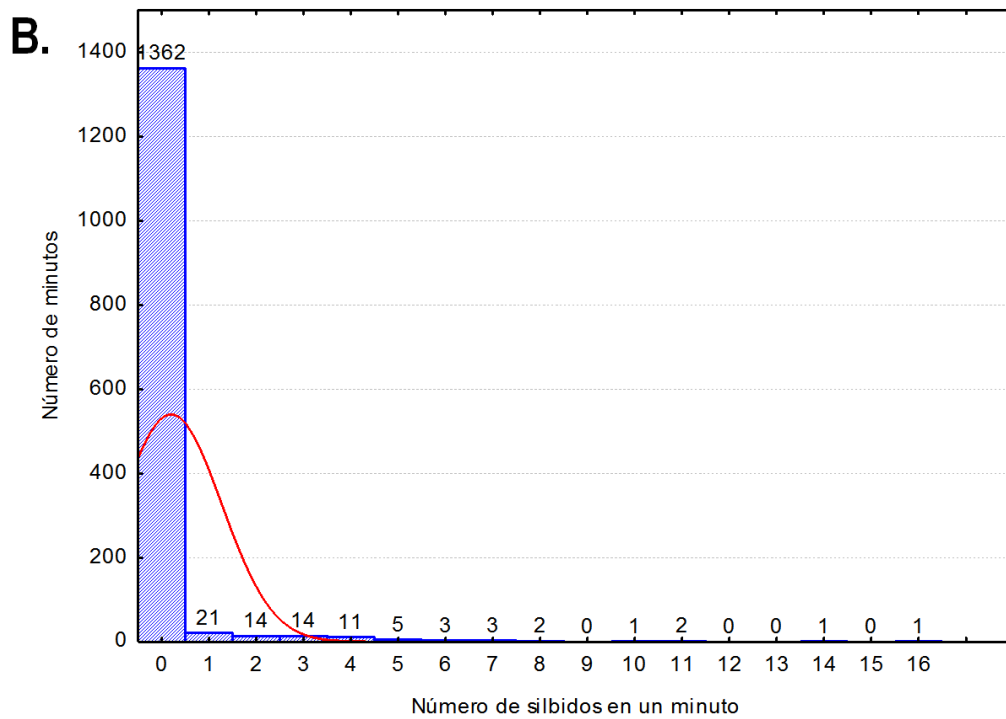
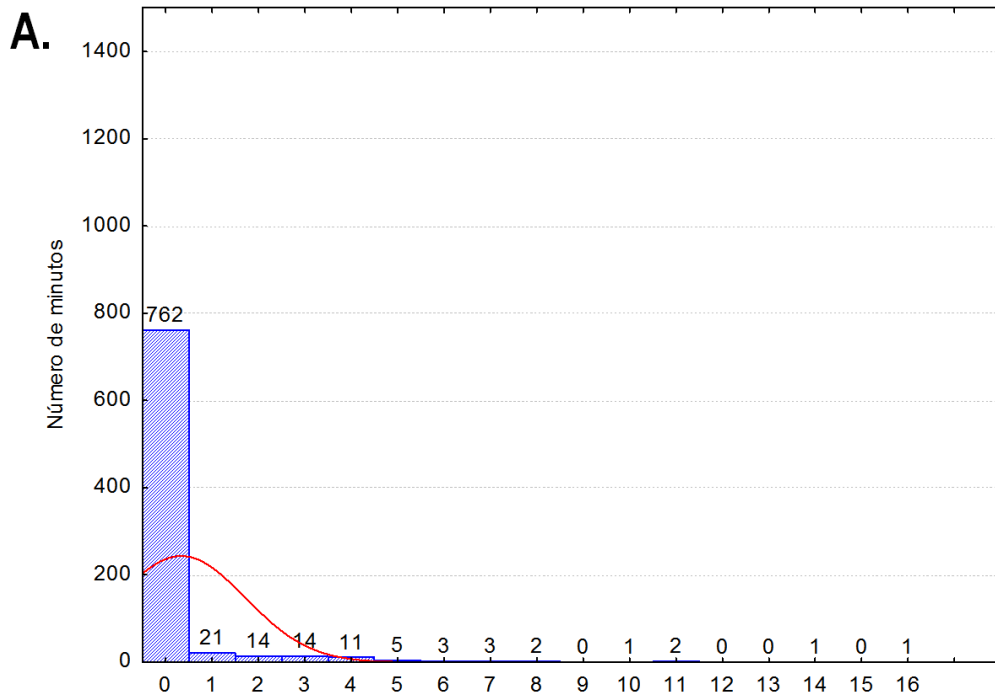
**Figura 19.** Gráfica de los estadísticos descriptivos (promedio, desviación estándar, valor mínimo y valor máximo) del número de silbidos en cada minuto emitidos durante (A.) los periodos diurno y nocturno en el **Acuario Six Flags**, (B.) los periodos diurno y nocturno en el **Acuario Atlantis**, (C.) el ciclo de 24 horas en ambos acuarios y (D.) los periodos diurno y nocturno en ambos acuarios.

**Tabla 13.** Resultados de la prueba estadística U de Mann-Whitney para la comparación del número de silbidos en cada minuto emitidos durante los periodos diurno y nocturno y durante el ciclo de 24 horas en ambos acuarios, durante el periodo diurno y el periodo nocturno en cada uno de los acuarios, durante los periodos diurno y nocturno en cada uno de los acuarios y durante los periodos diurno y nocturno en ambos acuarios en conjunto. Los números subrayados indican que existieron diferencias significativas a  $P \leq 0.05$ .

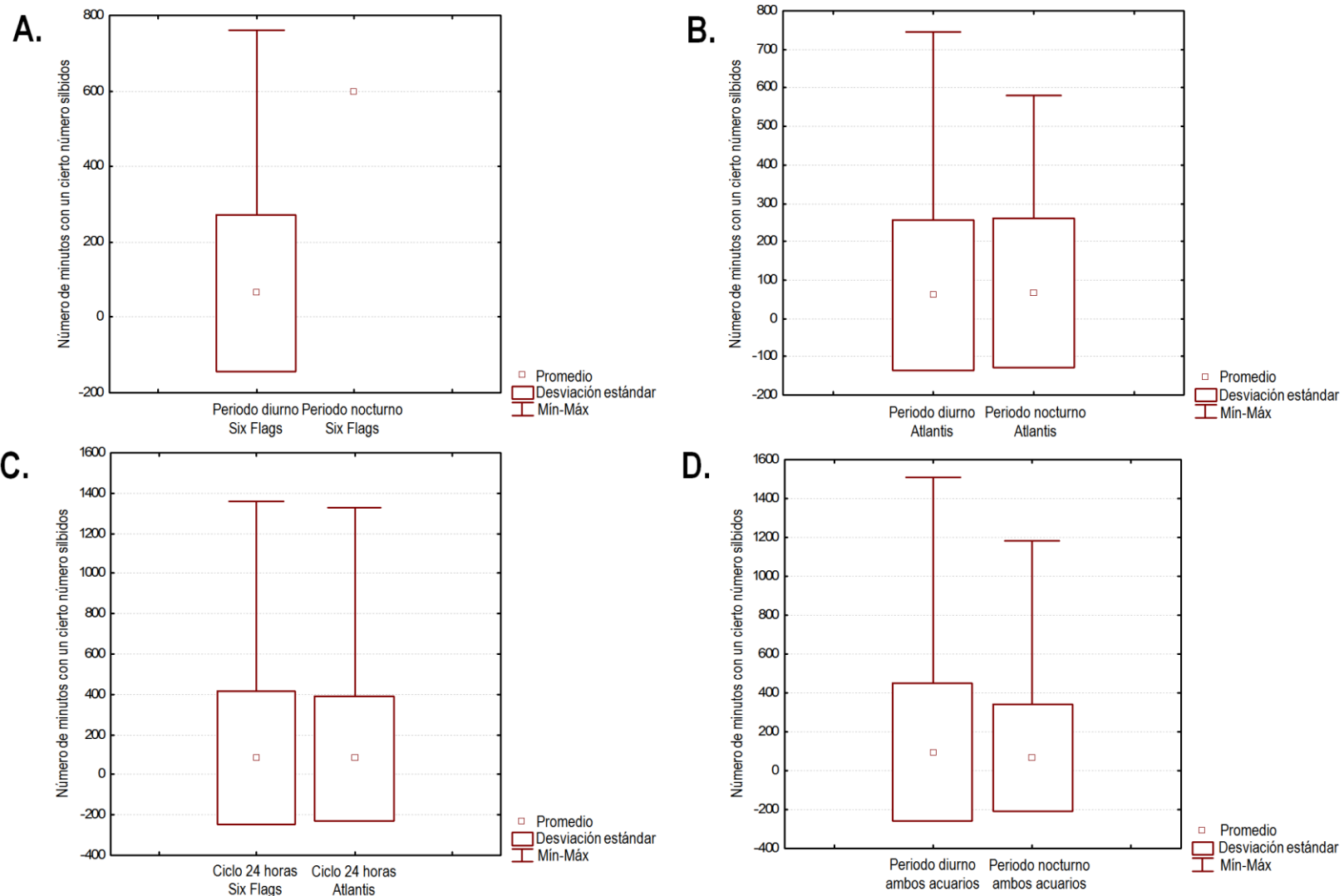
	DESCRIPCIÓN	U	Z AJUSTADA	P
A.	COMPARACIÓN DE LOS PERIODOS DIURNO Y NOCTURNO EN EL ACUARIO SIX FLAGS	228600	<u>7.67</u>	<u>0.0001</u>
B.	COMPARACIÓN DE LOS PERIODOS DIURNO Y NOCTURNO EN EL ACUARIO ATLANTIS	232455	<u>5.50</u>	<u>0.0001</u>
C.	COMPARACIÓN DE LOS CICLOS DE 24 HORAS EN LOS ACUARIOS SIX FLAGS Y ATLANTIS	1012129	<u>-2.57</u>	<u>0.0101</u>
D.	COMPARACIÓN DEL PERIODO DIURNO EN LOS ACUARIOS SIX FLAGS Y ATLANTIS	346374	-1.23	0.2180
E.	COMPARACIÓN DEL PERIODO NOCTURNO EN LOS ACUARIOS SIX FLAGS Y ATLANTIS	174300	<u>-4.39</u>	<u>0.0001</u>
F.	COMPARACIÓN DE LOS PERIODOS DIURNO Y NOCTURNO EN AMBOS ACUARIOS	211328.5	<u>9.12</u>	<u>0.0001</u>

Al considerar el **número de minutos que contenían un cierto número de silbidos** durante los 1440 minutos del ciclo de 24 horas en el **Acuario Six Flags** se puede observar que la **distribución del número de minutos que contenían un cierto número de silbidos también estaba corrida hacia la izquierda tanto para el periodo diurno como para el ciclo de 24 horas**, lo cual indicó que la **distribución también fue asimétrica** (Figura 20). Es decir, como los tursiones no silbaron mucho, el número de minutos con cero silbidos fue muy alto tanto durante el ciclo de 24 horas (representando un periodo de silencio del **94.6%** de los 1440 minutos) como durante ambos periodos y el número de minutos con más de 5 silbidos fue muy pequeño (representando el **1.3%** de los 1440 minutos, Figura 20, 21).

Al calcular el **PPCC** (coeficiente de correlación de la probabilidad gráfica, por sus siglas en inglés) se obtuvo: **0.49** para todo el ciclo de 24 horas, **0.50** para el periodo diurno y **0.00** para el periodo nocturno (Tabla 14), lo que también representó un **tipo de distribución beta**, es decir, en forma de U o cóncava (Tabla 5) del **número de minutos que contenían un cierto número de silbidos** emitidos en el **Acuario Six Flags** durante el ciclo de 24 horas y durante el periodo diurno. Estos datos tampoco tuvieron algún tipo de distribución para el periodo nocturno en el **Acuario Six Flags** porque los tursiones no silbaron durante la noche. Entonces, la comparación del **número de minutos que contenían un cierto número de silbidos** para los periodos **diurno y nocturno** del **Acuario Six Flags** también se realizó con una **prueba U de Mann Whitney** y se encontraron **diferencias significativas** en el **número de minutos que contenían un cierto número de silbidos** entre los periodos diurno y nocturno del **Acuario Six Flags** (Tabla 15, Figura 21), obviamente porque el número de minutos con cero silbidos durante el periodo nocturno fue mucho más alto que durante el periodo diurno.



**Figura 20.** Histograma del número de minutos que contenían un cierto número de silbidos (A.) durante el periodo diurno y (B.) durante el ciclo de 24 horas en el **Acuario Six Flags**. Los números mostrados en la parte superior de las barras del histograma son el número de minutos para cada minuto con un cierto número de silbidos. En el **Acuario Six Flags** no se emitieron silbidos durante el periodo nocturno.



**Figura 21.** Gráfica de los estadísticos descriptivos (promedio, desviación estándar, valor mínimo y valor máximo) del número de minutos que contenían un cierto número de silbidos emitidos durante (A.) los periodos diurno y nocturno en el **Acuario Six Flags**, (B.) los periodos diurno y nocturno en el **Acuario Atlantis**, (C.) el ciclo de 24 horas en ambos acuarios y (D.) los periodos diurno y nocturno en ambos acuarios.

**Tabla 14.** Estadísticos descriptivos (promedio, desviación estándar, valor mínimo y valor máximo) y el **PPCC** (coeficiente de correlación de la probabilidad gráfica, por sus siglas en inglés) del número de minutos que contenían un cierto número de silbidos emitidos tanto en el **Acuario Six Flags** como en el **Acuario Atlantis** durante el ciclo de 24 horas, durante los periodos diurno y nocturno y para los acuarios en conjunto.

ACUARIO	PERIODO	NÚMERO TOTAL DE MINUTOS	NÚMERO TOTAL MINUTOS CON SILBIDOS	NÚMERO DE MINUTOS CON CIERTO NÚMERO DE SILBIDOS				PPCC
				PROMEDIO	DESVIACIÓN ESTÁNDAR	VALOR MÍNIMO	VALOR MÁXIMO	
ACUARIO SIX FLAGS	Ciclo de 24 horas	1440	78	84.7	±329.2	0	1362	0.49
	Periodo diurno	840	78	49.4	±183.7	0	762	0.50
	Periodo nocturno	600	0	600.0	±0.0	0	0	0.00
ACUARIO ATLANTIS	Ciclo de 24 horas	1440	112	80.0	±311.6	0	1328	0.49
	Periodo diurno	840	94	46.7	±174.7	0	746	0.50
	Periodo nocturno	600	18	33.3	±136.9	0	582	0.48
ACUARIOS EN CONJUNTO	Ciclo de 24 horas	2880	190	82.3	±315.5	0	1362	0.50
	Periodo diurno	1680	172	48.0	±176.5	0	762	0.51
	Periodo nocturno	1200	18	34.3	±139.1	0	600	0.49

**Tabla 15.** Resultados de la prueba estadística U de Mann-Whitney para la comparación del número de minutos que contenían un cierto número de silbidos emitidos durante los periodos diurno y nocturno y durante el ciclo de 24 horas en ambos acuarios, durante el periodo diurno y el periodo nocturno en cada uno de los acuarios y durante los periodos diurnos y nocturnos en ambos acuarios en conjunto. Los números subrayados indican que existieron diferencias significativas a  $P \leq 0.05$ .

DESCRIPCIÓN	U	Z AJUSTADA	P
A. COMPARACIÓN DE LOS PERIODOS DIURNO Y NOCTURNO EN EL ACUARIO SIX FLAGS	48.0	<u>3.73</u>	<u>0.0001</u>
B. COMPARACIÓN DE LOS PERIODOS DIURNO Y NOCTURNO EN EL ACUARIO ATLANTIS	97.5	<u>2.10</u>	<u>0.0354</u>
C. COMPARACIÓN DE LOS CICLOS DE 24 HORAS EN LOS ACUARIOS SIX FLAGS Y ATLANTIS	141.0	-0.40	0.6895
D. COMPARACIÓN DEL PERIODO DIURNO EN LOS ACUARIOS SIX FLAGS Y ATLANTIS	149.0	-0.13	0.8939
E. COMPARACIÓN DEL PERIODO NOCTURNO EN LOS ACUARIOS SIX FLAGS Y ATLANTIS	90.0	<u>-2.61</u>	<u>0.0090</u>
F. COMPARACIÓN DE LOS PERIODOS DIURNO Y NOCTURNO EN AMBOS ACUARIOS	66.5	<u>3.09</u>	<u>0.0020</u>

### 5.1.2. Acuario Atlantis

Los tursiones del **Acuario Atlantis** emitieron un total de **447 silbidos en los 1440 minutos**, los cuales se registraron tanto durante el día (**358 silbidos** u **80.1%** del total de silbidos) como durante la noche (**89 silbidos** o **19.9%** del total de silbidos) (Tabla 16, Figura 22). De estos **447 silbidos**, el **97.1%** (434 silbidos) fueron emitidos en **cuatro intervalos**, uno durante el **periodo nocturno** y tres durante el **periodo diurno**. Durante el **periodo nocturno**, el **85.4%** de los **silbidos nocturnos** (76 silbidos, Figura 22) se emitieron en un periodo con una duración de **15 minutos** (entre la **01:51 y las 02:05 horas**), presentando una tasa de emisión de **5.1±5.4 silbidos/min** y una tasa de emisión **máxima** de **17 silbidos/min** (Tabla 12). El resto de los silbidos nocturnos se emitieron esporádicamente. Durante el **periodo diurno** el **primer intervalo** ocurrió entre las **10:59 y las 11:30 horas** y correspondió al **53.6%** de los silbidos diurnos, con una tasa de emisión de **6.0±4.3 silbidos/min** (192 silbidos / 32 minutos) y una tasa de emisión **máxima** de **17 silbidos/min** (Tabla 12). El **segundo intervalo** fue entre las **12:35 y las 14:02 horas** y correspondió al **14.2%** de los silbidos diurnos, con una tasa de emisión de **0.6±1.1 silbidos/min** (51 silbidos / 88 minutos) y una tasa de emisión **máxima** de **4 silbidos/min** (Tabla 12). El **tercer intervalo** fue entre las **06:30 y las 07:26 horas** y correspondió al **32.2%** de los silbidos diurnos, con una tasa de emisión de **2.0±2.2 silbidos/min** (115 silbidos / 57 minutos) y una tasa de emisión **máxima** de **8 silbidos/min** (Tabla 12). Entonces, los **tursiones del Acuario Atlantis** tuvieron un **periodo de fonación** de 112 minutos con silbidos (equivalente a **7.8%** de los 1440 minutos, Tabla 16), mientras que el **periodo de silencio** fue de 1328 minutos sin silbidos (equivalente a **92.2%** de los 1440 minutos). Dentro del periodo de silencio, se destacaron **dos periodos continuos de silencio**, uno de **8.3 horas** (de las 14:02 a las 22:22 horas, el **34.6%** de los 1440 minutos ciclo del 24 horas) y otro de **4.4 horas** (de las 02:06 a las 06:29 horas, el **18.3%** de los 1440 minutos ciclo del 24 horas). Entonces, en el **Acuario Atlantis** los tursiones emitieron **0.3±1.5 silbidos/min** en el ciclo de 24 horas y, aunque estuvieron acústicamente activos durante ambos periodos (Tabla 12, Figura 19), principalmente lo estuvieron durante la mañana. Los tursiones en el **Acuario Atlantis** tuvieron una **mayor actividad acústica durante el periodo diurno** que durante el periodo nocturno, en donde la emisión de silbidos fue muy baja (Tabla 16).

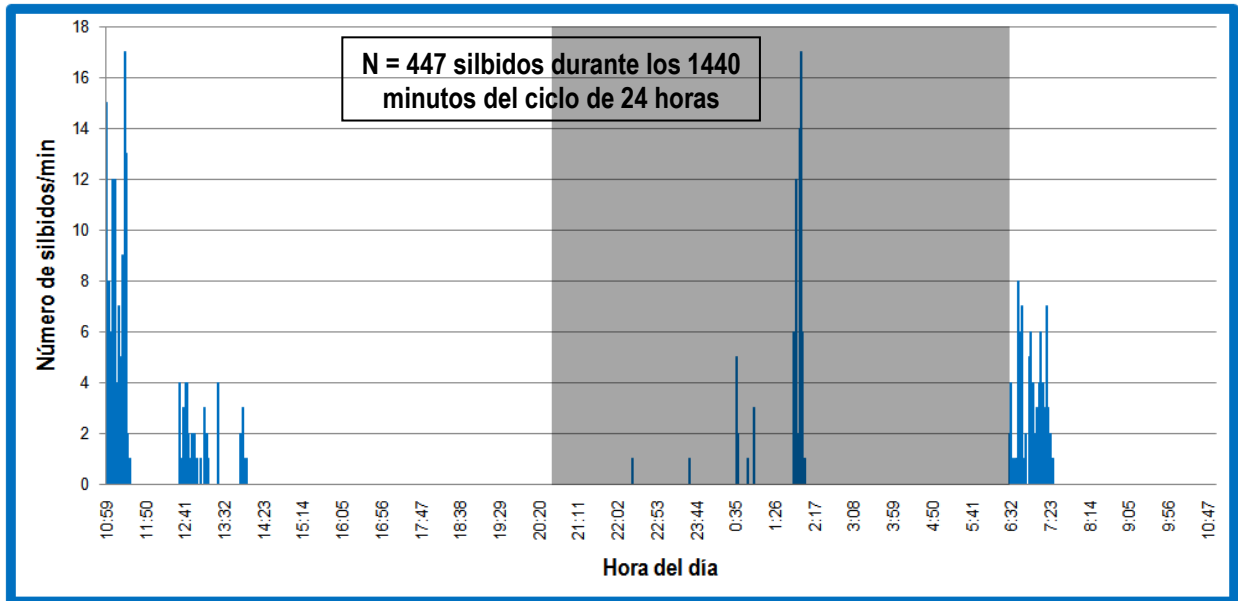
Al considerar el **número de silbidos en cada minuto** durante los 1440 minutos del ciclo de 24 horas en el **Acuario Atlantis** se puede observar que la **distribución del número de silbidos en cada minuto estaba corrida hacia la izquierda tanto para el periodo diurno, como para el periodo nocturno y el ciclo de 24 horas**, lo cual indicó que la **distribución fue asimétrica** (Figura 22). Al calcular un **PPCC** (coeficiente de correlación de la probabilidad gráfica, por sus siglas en inglés) se obtuvo: **0.47** para todo el **ciclo de 24 horas**, **0.54** para el **periodo diurno** y **0.33** para el **periodo nocturno** (Tabla 12), lo que representó un **tipo de distribución beta**, es decir, en forma de U o cóncava (Tabla 5) del número silbidos en cada minuto emitidos en el **Acuario Atlantis** durante el ciclo de 24 horas, durante el periodo diurno y durante el periodo nocturno.



**Tabla 16.** Hora del día durante el ciclo de 24 horas a la que fueron emitidos los silbidos en el **Acuario Atlantis**, mostrando el número de silbidos y el número de minuto de los 112 minutos en el que se emitieron los silbidos.

ACUARIO	HORA DEL CICLO DE 24 HORAS	NÚMERO DE MINUTO	NÚMERO DE SILBIDOS	HORA DEL CICLO DE 24 HORAS	NÚMERO DE MINUTO	NÚMERO DE SILBIDOS	HORA DEL CICLO DE 24 HORAS	NÚMERO DE MINUTO	NÚMERO DE SILBIDOS	HORA DEL CICLO DE 24 HORAS	NÚMERO DE MINUTO	NÚMERO DE SILBIDOS	HORA DEL CICLO DE 24 HORAS	NÚMERO DE MINUTO	NÚMERO DE SILBIDOS	HORA DEL CICLO DE 24 HORAS	NÚMERO DE MINUTO	NÚMERO DE SILBIDOS	
Atlantis	10:59	1	4	11:18	20	1	12:50	112	2	23:36	758	1	06:35	1177	1	07:05	1207	3	
Atlantis	11:00	2	15	11:19	21	4	12:51	113	1	00:37	819	5	06:39	1181	1	07:07	1209	2	
Atlantis	11:01	3	7	11:20	22	9	12:53	115	2	00:38	820	2	06:40	1182	1	07:09	1211	4	
Atlantis	11:02	4	5	11:21	23	7	12:54	116	1	00:51	833	1	06:41	1183	8	07:10	1212	6	
Atlantis	11:03	5	8	11:22	24	5	12:57	119	1	00:59	841	3	06:42	1184	3	07:12	1214	1	
Atlantis	11:04	6	6	11:23	25	17	13:01	123	1	01:51	893	6	06:43	1185	4	07:13	1215	1	
Atlantis	11:05	7	1	11:24	26	8	13:06	128	3	01:52	894	1	06:44	1186	3	07:14	1216	4	
Atlantis	11:06	8	5	11:25	27	6	13:08	130	2	01:53	895	12	06:45	1187	6	07:15	1217	1	
Atlantis	11:07	9	12	11:26	28	13	13:10	132	2	01:54	896	6	06:46	1188	7	07:17	1219	3	
Atlantis	11:08	10	7	11:27	29	2	13:11	133	1	01:57	899	2	06:47	1189	5	07:18	1220	7	
Atlantis	11:09	11	8	11:30	32	1	13:12	134	1	01:58	900	5	06:50	1192	1	07:19	1221	4	
Atlantis	11:10	12	12	12:35	97	4	13:25	147	4	01:59	901	14	06:51	1193	2	07:20	1222	3	
Atlantis	11:11	13	6	12:38	100	1	13:54	176	2	02:00	902	17	06:56	1198	5	07:21	1223	2	
Atlantis	11:12	14	4	12:39	101	3	13:55	177	1	02:01	903	6	06:57	1199	6	07:23	1225	1	
Atlantis	11:13	15	3	12:43	105	4	13:56	178	3	02:02	904	5	06:58	1200	1	07:24	1226	2	
Atlantis	11:14	16	2	12:44	106	4	13:57	179	1	02:03	905	1	06:59	1201	1	07:25	1227	1	
Atlantis	11:15	17	7	12:45	107	2	13:58	180	1	02:05	907	1	07:00	1202	2	07:26	1228	1	
Atlantis	11:16	18	2	12:46	108	2	14:02	184	1	06:30	1172	2	07:01	1203	4				
Atlantis	11:17	19	5	12:49	111	1	22:22	684	1	06:32	1174	4	07:02	1204	2				
<b>TOTAL</b>																		<b>112*</b>	<b>447</b>
<b>PROMEDIO</b>																		<b>09:05</b>	<b>4.0</b>
<b>DESVIACIÓN ESTÁNDAR</b>																		<b>±04:15</b>	<b>±3.6</b>

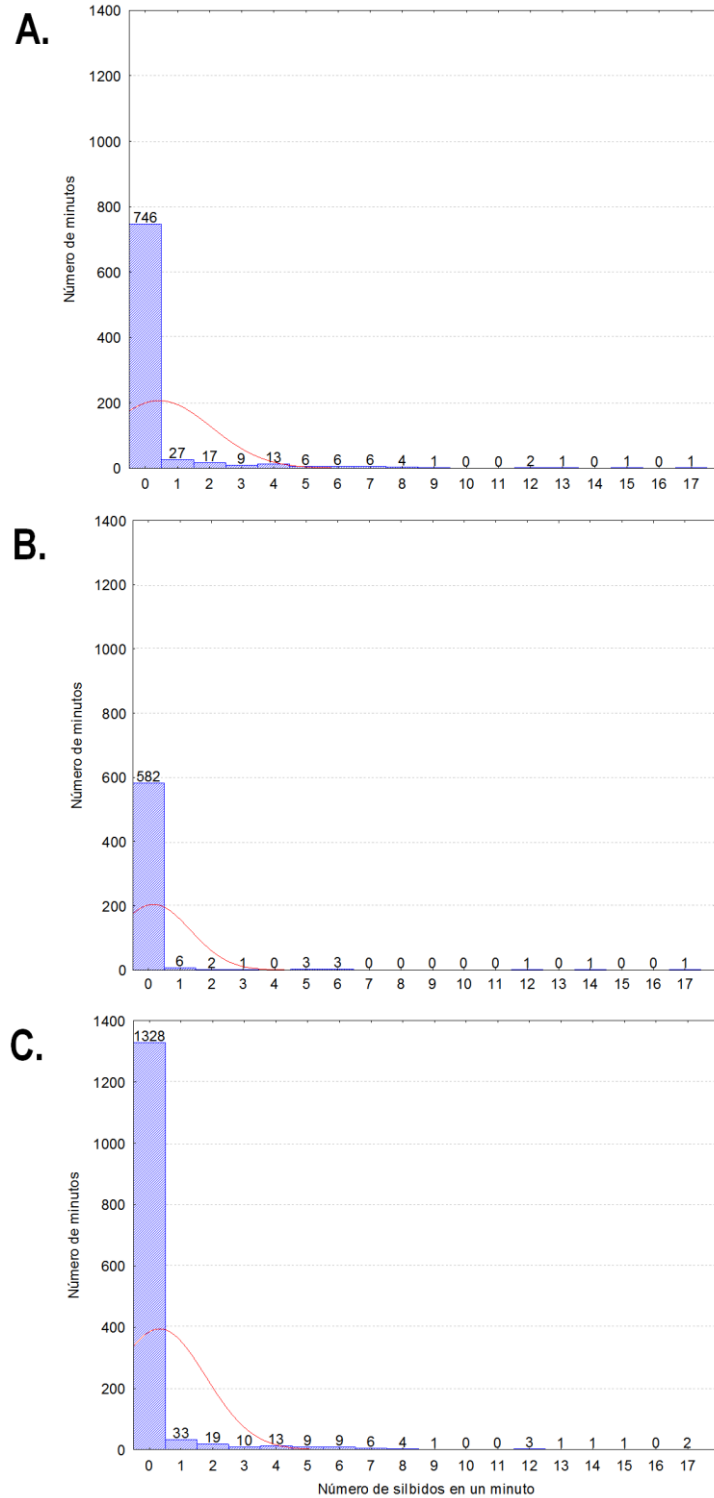
\* Número de minutos con silbidos, que son el periodo de fonación



**Figura 22.** Ocurrencia de silbidos en el **Acuario Atlantis** que muestra la hora del día a cada minuto dentro del ciclo de 24 horas. La región sombreada indica las horas sin luz (periodo nocturno). El muestreo comenzó a las 10:59 horas y terminó a las 10:58 horas del día siguiente.

Entonces, la comparación de la tasa de emisión (**número de silbidos en cada minuto**) diurna y nocturna del **Acuario Atlantis** se realizó con una **prueba U de Mann Whitney** y se encontraron diferencias significativas en las tasas de emisión entre los periodos diurno y nocturno del **Acuario Atlantis** (Tabla 13, Figura 19), porque la tasa de emisión de silbidos durante el periodo nocturno fue más pequeña.

Al considerar el **número de minutos que contenían un cierto número de silbidos** durante los 1440 minutos del ciclo de 24 horas en el **Acuario Atlantis** se puede observar que la **distribución del número de minutos que contenían un cierto número de silbidos también estaba corrida hacia la izquierda tanto para el periodo diurno, como para el periodo nocturno y el ciclo de 24 horas**, lo cual indicó que la **distribución también fue asimétrica** (Figura 23). Es decir, como los tursiones no silbaron mucho, el número de minutos con cero silbidos fue muy alto tanto durante el ciclo de 24 horas como durante ambos periodos y el número de minutos con más de 5 silbidos fue muy pequeño (el **2.6%** de los 1440 minutos, Figuras 21, 23).



**Figura 23.** Histograma del número de minutos que contenían un cierto número de silbidos (A.) durante el periodo diurno, (B.) durante el periodo nocturno y (C.) durante el ciclo de 24 horas del **Acuario Atlantis**. Los números mostrados en la parte superior de las barras del histograma son el número de minutos para cada minuto con un cierto número de silbidos.

Al calcular el **PPCC** (coeficiente de correlación de la probabilidad gráfica, por sus siglas en inglés) se obtuvo: **0.49** para el ciclo de 24 horas, **0.50** para el periodo diurno y **0.48** para el periodo nocturno (Tabla 14), lo que también representó un **tipo de distribución beta**, es decir, en forma de U o cóncava (Tabla 5) del **número de minutos que contenían un cierto número de silbidos** emitidos en el **Acuario Atlantis** durante el ciclo de 24 horas y durante ambos periodos. Entonces, la comparación del **número de minutos que contenían un cierto número de silbidos** para los periodos diurno y nocturno del **Acuario Atlantis** también se realizó con una **prueba U de Mann Whitney** y se encontraron diferencias significativas en el **número de minutos que contenían un cierto número de silbidos** entre los periodos diurno y nocturno del **Acuario Atlantis** (Tabla 15, Figura 21), porque el número de minutos con cero silbidos durante el periodo nocturno fue mucho más alto que durante el periodo diurno.

### 5.1.3. Comparación entre acuarios

La **distribución de los silbidos en el tiempo no fue homogénea** en ambos acuarios. Los tursiones del **Acuario Six Flags** emitieron **silbidos únicamente** durante el **periodo diurno** y principalmente en un **intervalo de tiempo** en la mañana alrededor de las **10:19±00:59 horas**, destacando que el **98.6%** de los silbidos en Six Flags se emitieron entre las **08:38 y las 11:20 horas** (Tabla 11, Figura 18). Los tursiones del **Acuario Atlantis** emitieron **silbidos** durante **ambos periodos** en **cuatro intervalos** (**tres intervalos** durante el **periodo diurno** y **un intervalo** durante el **periodo nocturno**) (Tabla 16, Figura 22), pero también **principalmente** en la mañana alrededor de las **09:05±04:15 horas**, destacando que el **43.0%** de los silbidos en Atlantis se emitieron entre las **10:59 y las 11:30 horas**. Además, el periodo de silencio (**94.6%** para el **Acuario Six Flags** y **92.2%** para el **Acuario Atlantis**) fue mucho mayor que el periodo de fonación en ambos acuarios. Por ello, la **distribución tanto del número de silbidos en cada minuto como del número de minutos que contenían un cierto número de silbidos** durante el **ciclo de 24 horas** y durante los **periodos diurno y nocturno** en **ambos acuarios** presentó una **distribución asimétrica tipo beta** (Tabla 5, Figura 18, 20, 22, 23).

El **periodo de fonación** fue un poco **mayor** para el **Acuario Atlantis** (**7.8%** o 112 minutos con 447 silbidos en 1440 minutos) que para el **Acuario Six Flags** (**5.4%** o 78 minutos con 277 silbidos en 1440 minutos) y los **tursiones** del **Acuario Atlantis** también tuvieron una **tasa de emisión** de silbidos tanto **durante 24 horas**, como **durante el periodo diurno y el periodo nocturno un poco mayor** que las tasas de emisión de los tursiones del **Acuario Six Flags**. Entonces, los tursiones del **Acuario Atlantis** fueron **acústicamente un poco más activos** que los tursiones del **Acuario Six Flags** (Tabla 13, Figura 19, 20, 21, 23). Sin embargo, al realizar las pruebas estadísticas de la tasa de emisión (**número de silbidos en cada minuto**) y del **número de minutos que contenían un cierto número de silbidos**, no se encontraron las mismas diferencias significativas (Tabla 13, 15). El **número de minutos que**

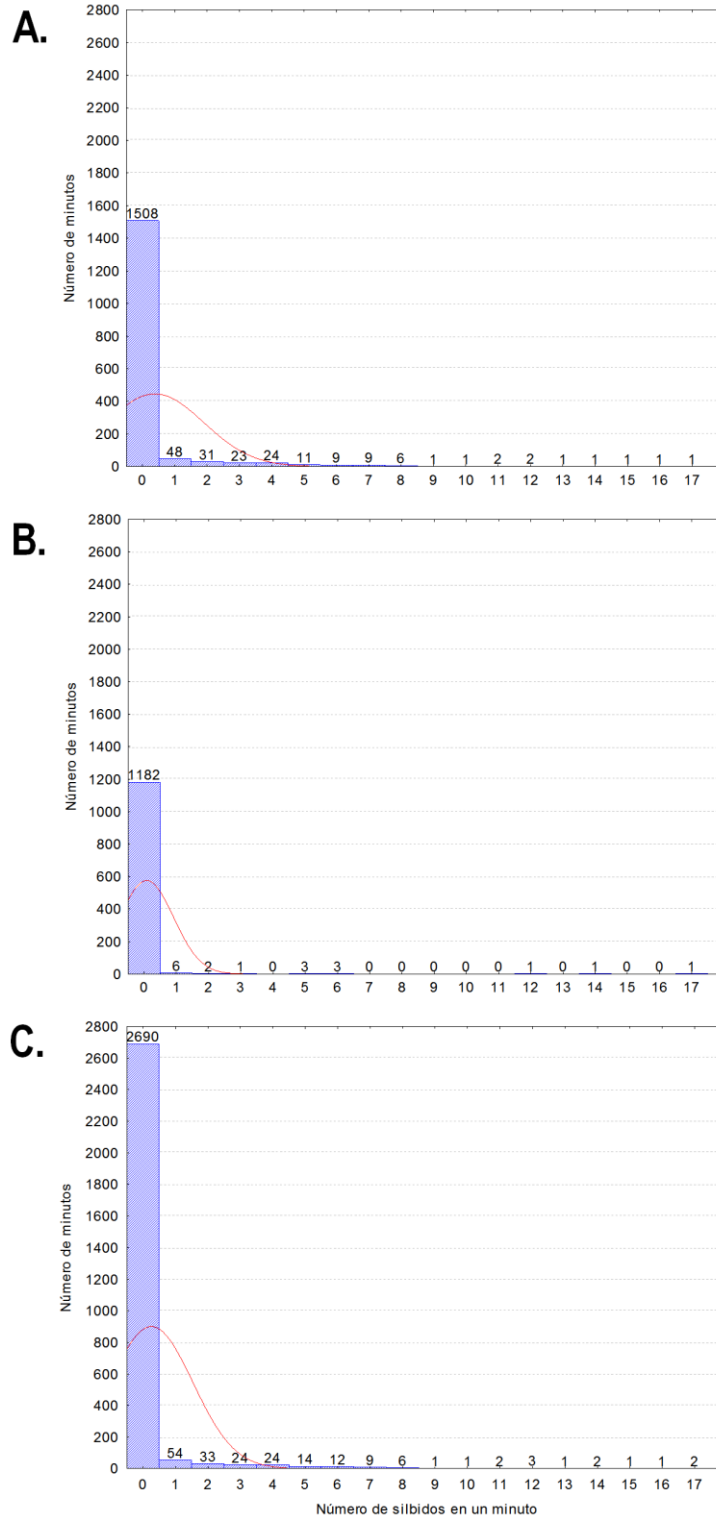
contenían un cierto número de silbidos sólo fue distinto entre el periodo nocturno de ambos acuarios, mientras que el número de silbidos en cada minuto fue distinto tanto entre el periodo nocturno como entre el ciclo de 24 horas de ambos acuarios. Entonces, los tursiones del Acuario Atlantis silbaron más durante la noche, pero lo hicieron de manera semejante a los tursiones del Acuario Six Flags durante el día.

#### 5.1.4. Acuarios en conjunto

Como la emisión de silbidos en ambos acuarios fue muy similar, se describieron los silbidos de todos tursiones en cautiverio estudiados para representar una muestra de cuatro tursiones en cautiverio en la Ciudad de México, es decir, se consideraron los acuarios en conjunto.

Así, los tursiones de los acuarios **Six Flags** y **Atlantis** emitieron un total de **724 silbidos en los 2880 minutos**, de los cuales **635 silbidos** se emitieron durante el **periodo diurno** (en los **1680 minutos**) y **89 silbidos** durante el **periodo nocturno** (en los **1200 minutos**) (Tabla 12). El **periodo de fonación** para ambos acuarios fue de **6.6%** (190 minutos con silbidos de los 2880 minutos), mientras que el **periodo de silencio** fue de **93.4%** (2690 minutos sin silbidos de los 2880 minutos). Los tursiones en ambos acuarios emitieron **0.3±1.3 silbidos/min** en el ciclo de 24 horas, **0.4±1.5 silbidos/min** en el periodo diurno y **0.1±0.8 silbidos/min** en el periodo nocturno, lo cual indica que se tuvo una emisión de silbidos mayor durante el periodo diurno que durante el nocturno en los acuarios en conjunto (Tabla 12).

Esta diferencia en la emisión diurna y nocturna se confirmó estadísticamente al considerar el **número de silbidos en cada minuto** y el **número de minutos que contenían un cierto número de silbidos** durante los 2880 minutos de ambos **ciclos de 24 horas**. La **distribución del número de silbidos en cada minuto** o del **número de minutos que contenían un cierto número de silbidos** (Figura 24) estaba **corrida hacia la izquierda** tanto para el **periodo diurno**, como para el **periodo nocturno** y el **ciclo de 24 horas de los acuarios en conjunto**, lo cual indicó que la **distribución fue asimétrica** con un **tipo de distribución beta**, es decir, en forma de U o cóncava (Tabla 5, 12). Entonces, la comparación del **número de silbidos en cada minuto** y el **número de minutos que contenían un cierto número de silbidos** para los periodos diurno y nocturno de los acuarios en conjunto se realizó con una **prueba U de Mann Whitney** y se encontraron diferencias significativas tanto en las tasas de emisión como en el **número de minutos que contenían un cierto número de silbidos** entre los periodos diurno y nocturno de los acuarios en conjunto (Tabla 13, 15, Figura 19, 21), porque los tursiones emitieron más silbidos durante el día.



**Figura 24.** Histograma del número de minutos que contenían un cierto número de silbidos (A.) durante el periodo diurno, (B.) durante el periodo nocturno y (C.) durante el ciclo de 24 horas en ambos acuarios. Los números mostrados en la parte superior de las barras del histograma son el número de minutos para cada minuto con un cierto número de silbidos.

## 5.2. Repertorio de silbidos

### 5.2.1. Acuario Six Flags

El tamaño del **repertorio de silbidos del Acuario Six Flags** estuvo constituido por **38 tipos de silbidos** obtenidos con **13 iteraciones** de la subrutina “**ARTwarp**” (Tabla 17, 18) a partir de los **277 silbidos** emitidos en los **1440 minutos** del ciclo de 24 horas. Como los tursiones del **Acuario Six Flags no silbaron** durante el **periodo nocturno**, estos **38 tipos de silbidos** representaron tanto el repertorio del **ciclo de 24 horas** como el del **periodo diurno** y no se pudo realizar una comparación de los repertorios de silbidos diurnos y nocturnos de los tursiones del **Acuario Six Flags**. Cabe mencionar que al observar los espectrogramas de los diferentes tipos de silbidos obtenidos con la subrutina “**ARTwarp**” se puede apreciar que esta subrutina considera las diferencias en el intervalo de frecuencia de cada silbido. Por ejemplo, los tipos de silbidos SF31, SF32 y SF33 son contornos lineales ascendentes cortos que varían en el intervalo de frecuencia en que se encuentra su modulación (Tabla 18).

La **variabilidad proporcional** del repertorio del **ciclo de 24 horas** o del **periodo diurno** del **Acuario Six Flags** fue de **13.7%** ( $38 \text{ tipos de silbidos} / 277 \text{ silbidos} * 100$ ) (Tabla 17). Esto significa que el repertorio de silbidos de los tursiones del **Acuario Six Flags** fue proporcionalmente **poco variable**, es decir, emitieron pocos tipos de silbidos de acuerdo al número total de silbidos muestreados.

El **repertorio de silbidos** del **Acuario Six Flags** del ciclo de 24 horas o del periodo diurno estuvo constituido por un **55.2%** de **tipos de silbidos complejos** y un **44.8%** de **tipos de silbidos simples** (Tabla 19, 20), lo cual indicó que los **tipos de silbidos** del **Acuario Six Flags** fueron **casi igualmente complejos** que **simples**, teniendo un poco más de tipos de silbidos complejos. Cabe mencionar que los tursiones del **Acuario Six Flags** sólo emitieron tipos de silbidos simples con modulación lineal corta. No emitieron ningún tipo de silbido simple con modulación lineal larga y de los 17 tipos de silbidos simples, al menos 6 tuvieron una duración muy corta (Tabla 20).

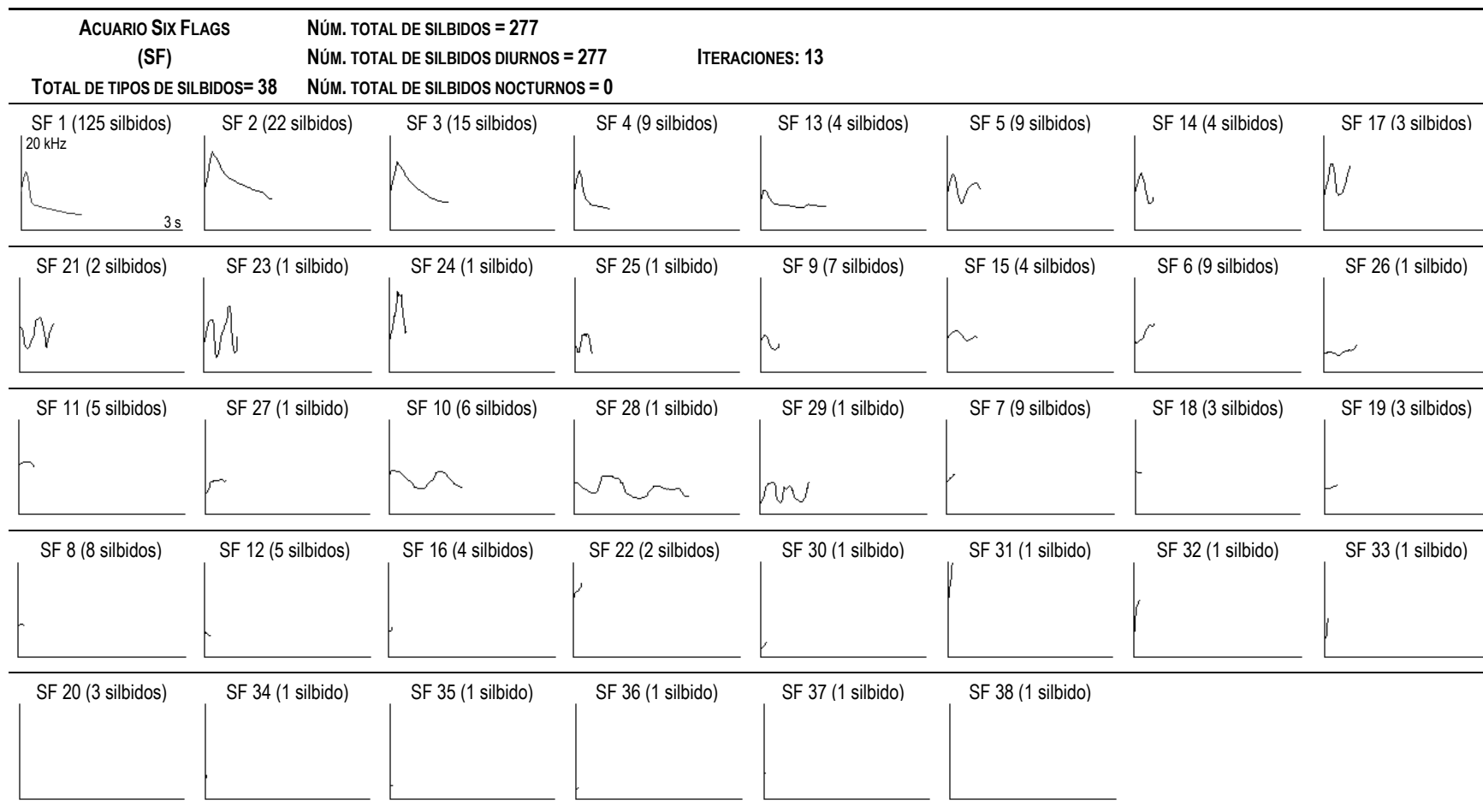
En cuanto a la **complejidad** del **repertorio de silbidos** del **Acuario Six Flags** del ciclo de 24 horas o del periodo diurno se encontró que el **valor de complejidad** del repertorio fue de **0.57** (Tabla 17). Considerando que cuando se tiene una cuarta parte de tipos de silbidos de cada categoría general el valor de complejidad sería de 0.625, entonces, el valor de complejidad de 0.57 obtenido confirmó que los **tipos de silbidos** del **Acuario Six Flags** fueron **casi igualmente complejos** que **simples**.

**Tabla 17.** Número de tipos de silbidos (tamaño del repertorio de silbidos), número de silbidos, variabilidad proporcional (número de tipos de silbidos entre el número de silbidos) y valor de complejidad para los silbidos emitidos en los Acuarios Six Flags y Atlantis y para los acuarios en conjunto. d=periodo diurno, n=periodo nocturno, SF=Acuario Six Flags, AT=Acuario Atlantis.

		ACUARIO							
		SIX FLAGS (SF)	ATLANTIS (AT)	ACUARIOS EN CONJUNTO					
				SIX FLAGS (SC)	ATLANTIS (AC)	EXCLUSIVO SIX FLAGS (ES)	EXCLUSIVO ATLANTIS (EA)	EXCLUSIVO AMBOS ACUARIOS (SA)	ACUARIOS EN CONJUNTO (AA)
CICLO DE 24 HORAS	NÚMERO DE TIPOS DE SILBIDOS	38	50	45	61	12	28	33	73
	NÚMERO DE SILBIDOS	277	447	277	447	183	199	342 (94 SF, 248 AT)	724
	VARIABILIDAD PROPORCIONAL (%)	13.7	11.2	16.3	13.7	6.6	14.1	9.7	10.1
	VALOR DE COMPLEJIDAD	0.57	0.58	0.53	0.55	0.65	0.63	0.49	0.57
PERIODO DIURNO	NÚMERO DE TIPOS DE SILBIDOS	38	45	45	56	12	24	33	69
	NÚMERO DE SILBIDOS	277	358	277	358	183	130	322 (94 SF, 228 AT)	635
	VARIABILIDAD PROPORCIONAL (%)	13.7	12.6	16.3	15.6	6.6	18.5	9.9	10.9
	VALOR DE COMPLEJIDAD	0.57	0.54	0.53	0.54	0.65	0.59	0.49	0.55
PERIODO NOCTURNO	NÚMERO DE TIPOS DE SILBIDOS	0	22	0	25	0	11	14	25
	NÚMERO DE SILBIDOS	0	89	0	89	0	69	20 (20 AT)	89
	VARIABILIDAD PROPORCIONAL (%)	0.0	24.7	0.0	28.1	0.0	15.9	70.0	28.1
	VALOR DE COMPLEJIDAD	0.0	0.51	0.0	0.51	0.0	0.66	0.39	0.51
EXCLUSIVAMENTE PERIODO DIURNO	NÚMERO DE TIPOS DE SILBIDOS	38	28	45	36	12	17	19	48
	NÚMERO DE SILBIDOS	277	167	277	215	183	86	183 (54 SF, 129 AT)	452
	VARIABILIDAD PROPORCIONAL (%)	13.7	16.8	16.3	16.7	6.6	19.8	10.4	10.6
	VALOR DE COMPLEJIDAD	0.57	0.63	0.53	0.58	0.65	0.60	0.57	0.60
EXCLUSIVAMENTE PERIODO NOCTURNO	NÚMERO DE TIPOS DE SILBIDOS	0	5	0	5	0	4	0	4
	NÚMERO DE SILBIDOS	0	41	0	40	0	39	0	39
	VARIABILIDAD PROPORCIONAL (%)	0.0	12.2	0.0	12.5	0.0	10.3	0.0	10.3
	VALOR DE COMPLEJIDAD	0.0	0.85	0.0	0.85	0.0	0.81	0.0	0.81
DURANTE AMBOS PERIODOS (DIURNO Y NOCTURNO)	NÚMERO DE TIPOS DE SILBIDOS	0	17	0	20	0	7	14	21
	NÚMERO DE SILBIDOS	0	239 (191d, 48n)	0	192 (143d, 49n)	0	74 (44d, 30n)	159 {40 SF, 119 AT (99d, 20n)}	233 (183d, 50n)
	VARIABILIDAD PROPORCIONAL (%)	0.0	7.1	0.0	10.4	0.0	9.5	8.8	9.0
	VALOR DE COMPLEJIDAD	0.0	0.41	0.0	0.43	0.0	0.57	0.39	0.45



**Tabla 18.** Espectrogramas de las “neuronas” o tipos de silbidos del repertorio de silbidos de los tursiones del **Acuario Six Flags** que representan los 38 tipos de silbidos obtenidos con los 277 silbidos emitidos tanto para el ciclo de 24 horas como para el periodo diurno (en el **Acuario Six Flags** no se emitieron silbidos durante el periodo nocturno). Todos los espectrogramas tienen una duración de 3 s (eje horizontal) y un ancho de banda de 20 kHz (eje vertical).



**Tabla 19.** Número de tipos de silbidos y número de silbidos para cada una de las cuatro categorías generales de los silbidos emitidos en los Acuarios Six Flags y Atlantis y para los acuarios en conjunto. SF=Acuario Six Flags, AT=Acuario Atlantis.

CATEGORÍAS GENERALES DE SILBIDOS		ACUARIO																															
		SIX FLAGS (SF)				ATLANTIS (AT)				ACUARIOS EN CONJUNTO																							
		SIX FLAGS (SC)		ATLANTIS (AC)		EXCLUSIVO SIX FLAGS (ES)		EXCLUSIVO ATLANTIS (EA)		EXCLUSIVO AMBOS ACUARIOS (SA)		ACUARIOS EN CONJUNTO (AA)																					
		# DE TIPOS DE SILBIDOS	# DE SILBIDOS	# DE TIPOS DE SILBIDOS	# DE SILBIDOS	# DE TIPOS DE SILBIDOS	# DE SILBIDOS	# DE TIPOS DE SILBIDOS	# DE SILBIDOS	# DE TIPOS DE SILBIDOS	# DE SILBIDOS	# DE TIPOS DE SILBIDOS	# DE SILBIDOS	# DE TIPOS DE SILBIDOS	# DE SILBIDOS	# DE TIPOS DE SILBIDOS	# DE SILBIDOS	# DE TIPOS DE SILBIDOS	# DE SILBIDOS	# DE TIPOS DE SILBIDOS	# DE SILBIDOS	# DE TIPOS DE SILBIDOS	# DE SILBIDOS										
CICLO DE 24 HORAS	GRAN MODULACIÓN	7	18.4%	23	8.3%	14	28.0%	123	27.5%	7	15.6%	19	6.8%	13	21.3%	124	27.7%	3	25.0%	3	1.6%	9	32.2%	104	52.3%	4	12.1%	36 (16 SF, 20 AT)	10.5%	16	21.9%	143	19.8%
	POCA MODULACIÓN	14	36.8%	208	75.1%	11	22.0%	87	19.5%	14	31.1%	203	73.3%	15	24.6%	91	20.4%	5	41.7%	176	96.2%	6	21.4%	30	15.1%	9	27.3%	88 (27 SF, 61 AT)	25.7%	20	27.4%	294	40.6%
	MODULACIÓN LINEAL LARGA	0	0.0%	0	0.0%	1	2.0%	1	0.2%	2	4.4%	3	1.1%	5	8.2%	21	4.7%	0	0.0%	0	0.0%	3	10.7%	11	5.5%	2	6.1%	13 (3 SF, 10 AT)	3.8%	5	6.9%	24	3.3%
	MODULACIÓN LINEAL CORTA	17	44.8%	46	16.6%	24	48.0%	236	52.8%	22	48.9%	52	18.8%	28	45.9%	211	47.2%	4	33.3%	4	2.2%	10	35.7%	54	27.1%	18	54.5%	205 (48 SF, 157 AT)	60.0%	32	43.8%	263	36.3%
	SUBTOTAL: MODULACIÓN COMPLEJA	21	55.2%	231	83.4%	25	50.0%	210	47.0%	21	46.7%	222	80.1%	28	45.9%	215	48.1%	8	66.7%	179	97.8%	15	53.6%	134	67.4%	13	39.4%	124 (43 SF, 81 AT)	36.2%	36	49.3%	437	60.4%
	SUBTOTAL: MODULACIÓN SIMPLE	17	44.8%	46	16.6%	25	50.0%	237	53.0%	24	53.3%	55	19.9%	33	54.1%	232	51.9%	4	33.3%	4	2.2%	13	46.4%	65	32.6%	20	60.6%	218 (51 SF, 167 AT)	63.8%	37	50.7%	287	39.6%
	TOTAL	38	100%	277	100%	50	100%	447	100%	45	100%	277	100%	61	100%	447	100%	12	100%	183	100%	28	100%	199	100%	33	100%	342 (94 SF, 248 AT)	100%	73	100%	724	100%
PERIODO DIURNO	GRAN MODULACIÓN	7	18.4%	23	8.3%	10	22.2%	78	21.8%	7	15.6%	19	6.8%	9	16.1%	80	22.3%	3	25.0%	3	1.6%	6	25.0%	61	46.9%	4	12.1%	35 (16 SF, 19 AT)	10.9%	13	18.8%	99	15.6%
	POCA MODULACIÓN	14	36.8%	208	75.1%	11	24.5%	83	23.2%	14	31.1%	203	73.3%	15	26.8%	78	21.8%	5	41.7%	176	96.2%	6	25.0%	19	14.6%	9	27.3%	86 (27 SF, 59 AT)	26.7%	20	29.0%	281	44.3%
	MODULACIÓN LINEAL LARGA	0	0.0%	0	0.0%	1	2.2%	1	0.3%	2	4.4%	3	1.1%	5	8.9%	20	5.6%	0	0.0%	0	0.0%	3	12.5%	11	8.5%	2	6.1%	12 (3 SF, 9 AT)	3.7%	5	7.2%	23	3.6%
	MODULACIÓN LINEAL CORTA	17	44.8%	46	16.6%	23	51.1%	196	54.7%	22	48.9%	52	18.8%	27	48.2%	180	50.3%	4	33.3%	4	2.2%	9	37.5%	39	30.0%	18	54.5%	189 (48 SF, 141 AT)	58.7%	31	45.0%	232	36.5%
	SUBTOTAL: MODULACIÓN COMPLEJA	21	55.2%	231	83.4%	21	46.7%	161	45.0%	21	46.7%	222	80.1%	24	42.9%	158	44.1%	8	66.7%	179	97.8%	12	50.0%	80	61.5%	13	39.4%	121 (43 SF, 78 AT)	37.6%	33	47.8%	380	59.9%
	SUBTOTAL: MODULACIÓN SIMPLE	17	44.8%	46	16.6%	24	53.3%	197	55.0%	24	53.3%	55	19.9%	32	57.1%	200	55.9%	4	33.3%	4	2.2%	12	50.0%	50	38.5%	20	60.6%	201 (51 SF, 150 AT)	62.4%	36	52.2%	255	40.1%
	TOTAL	38	100%	277	100%	45	100%	358	100%	45	100%	277	100%	56	100%	358	100%	12	100%	183	100%	24	100%	130	100%	33	100%	322 (94 SF, 228 AT)	100%	69	100%	635	100%
PERIODO NOCTURNO	GRAN MODULACIÓN	0	0.0%	0	0.0%	5	22.7%	45	50.6%	0	0.0%	0	0.0%	5	20.0%	44	49.5%	0	0.0%	0	0.0%	4	36.4%	43	62.3%	1	7.1%	1 (1 AT)	5.0%	5	20.0%	44	49.5%
	POCA MODULACIÓN	0	0.0%	0	0.0%	4	18.2%	4	4.5%	0	0.0%	0	0.0%	5	20.0%	13	14.6%	0	0.0%	0	0.0%	3	27.2%	11	15.9%	2	14.3%	2 (2 AT)	10.0%	5	20.0%	13	14.6%
	MODULACIÓN LINEAL LARGA	0	0.0%	0	0.0%	0	0.0%	0	0.0%	0	0.0%	0	0.0%	1	4.0%	1	1.1%	0	0.0%	0	0.0%	0	0.0%	0	0.0%	1	7.1%	1 (1 AT)	5.0%	1	4.0%	1	1.1%
	MODULACIÓN LINEAL CORTA	0	0.0%	0	0.0%	13	59.1%	40	44.9%	0	0.0%	0	0.0%	14	56.0%	31	34.8%	0	0.0%	0	0.0%	4	36.4%	15	21.8%	10	71.5%	16 (16 AT)	80.0%	14	56.0%	31	34.8%
	SUBTOTAL: MODULACIÓN COMPLEJA	0	0.0%	0	0.0%	9	40.9%	49	55.1%	0	0.0%	0	0.0%	10	40.0%	57	64.1%	0	0.0%	0	0.0%	7	63.6%	54	78.2%	3	21.4%	3 (3 AT)	15.0%	10	40.0%	57	64.1%
	SUBTOTAL: MODULACIÓN SIMPLE	0	0.0%	0	0.0%	13	59.1%	40	44.9%	0	0.0%	0	0.0%	15	60.0%	32	35.9%	0	0.0%	0	0.0%	4	36.4%	15	21.8%	11	78.6%	17 (17 AT)	85.0%	15	60.0%	32	35.9%
	TOTAL	0	0.0%	0	0.0%	22	100%	89	100%	0	0.0%	0	0.0%	25	100%	89	100%	0	0.0%	0	0.0%	11	100%	69	100%	14	100%	20 (20 AT)	100%	25	100%	89	100%

**Tabla 19 cont.** Número de tipos de silbidos y número de silbidos para cada una de las cuatro categorías generales de los silbidos emitidos en los Acuarios Six Flags y Atlantis y para los acuarios en conjunto. d=periodo diurno, n=periodo nocturno, SF=Acuario Six Flags, AT=Acuario Atlantis.

CATEGORÍAS GENERALES DE SILBIDOS		ACUARIO																															
		SIX FLAGS (SF)				ATLANTIS (AT)				ACUARIOS EN CONJUNTO																							
		# DE TIPOS DE SILBIDOS		# DE SILBIDOS		# DE TIPOS DE SILBIDOS		# DE SILBIDOS		SIX FLAGS (SC)		ATLANTIS (AC)		EXCLUSIVO SIX FLAGS (ES)		EXCLUSIVO ATLANTIS (EA)		EXCLUSIVO AMBOS ACUARIOS (SA)		ACUARIOS EN CONJUNTO (AA)													
		# DE TIPOS DE SILBIDOS	# DE SILBIDOS	# DE TIPOS DE SILBIDOS	# DE SILBIDOS	# DE TIPOS DE SILBIDOS	# DE SILBIDOS	# DE TIPOS DE SILBIDOS	# DE SILBIDOS	# DE TIPOS DE SILBIDOS	# DE SILBIDOS	# DE TIPOS DE SILBIDOS	# DE SILBIDOS	# DE TIPOS DE SILBIDOS	# DE SILBIDOS	# DE TIPOS DE SILBIDOS	# DE SILBIDOS	# DE TIPOS DE SILBIDOS	# DE SILBIDOS	# DE TIPOS DE SILBIDOS	# DE SILBIDOS												
EXCLUSIVAMENTE PERIODO DIURNO	GRAN MODULACIÓN	7	18.4%	23	8.3%	9	32.1%	49	29.3%	7	15.6%	19	6.8%	8	22.2%	55	25.6%	3	25.0%	3	1.6%	5	29.3%	36	41.9%	3	15.8%	32 (13 SF, 19 AT)	17.5%	11	22.9%	71	15.7%
	POCA MODULACIÓN	14	36.8%	208	75.1%	7	25.0%	46	27.6%	14	31.1%	203	73.3%	10	27.8%	52	24.2%	5	41.7%	176	96.2%	3	17.7%	5	5.8%	7	36.8%	66 (19 SF, 47 AT)	36.1%	15	31.3%	247	54.7%
	MODULACIÓN LINEAL LARGA	0	0.0%	0	0.0%	1	3.6%	1	0.6%	2	4.4%	3	1.1%	4	11.1%	14	6.5%	0	0.0%	0	0.0%	3	17.7%	11	12.8%	1	5.3%	5 (2 SF, 3 AT)	2.7%	4	8.3%	16	3.5%
	MODULACIÓN LINEAL CORTA	17	44.8%	46	16.6%	11	39.3%	71	42.5%	22	48.9%	52	18.8%	14	38.9%	94	43.7%	4	33.3%	4	2.2%	6	35.3%	34	39.5%	8	42.1%	80 (20 SF, 60 AT)	43.7%	18	37.5%	118	26.1%
	SUBTOTAL: MODULACIÓN COMPLEJA	21	55.2%	231	83.4%	16	57.1%	95	56.9%	21	46.7%	222	80.1%	18	50.0%	107	49.8%	8	66.7%	179	97.8%	8	47.0%	41	47.7%	10	52.6%	98 (32 SF, 66 AT)	53.6%	26	54.2%	318	70.4%
	SUBTOTAL: MODULACIÓN SIMPLE	17	44.8%	46	16.6%	12	42.9%	72	43.1%	24	53.3%	55	19.9%	18	50.0%	108	50.2%	4	33.3%	4	2.2%	9	53.0%	45	52.3%	9	47.4%	85 (22 SF, 63 AT)	46.4%	22	45.8%	134	29.6%
	TOTAL	38	100%	277	100%	28	100%	167	100%	45	100%	277	100%	36	100%	215	100%	12	100%	183	100%	17	100%	86	100%	19	100%	183 (54 SF, 129 AT)	100%	48	100%	452	100%
EXCLUSIVAMENTE PERIODO NOCTURNO	GRAN MODULACIÓN	0	0.0%	0	0.0%	4	80.0%	40	97.6%	0	0.0%	0	0.0%	4	80.0%	39	97.5%	0	0.0%	0	0.0%	3	75.0%	38	97.4%	0	0.0%	0	0.0%	3	75.0%	38	97.4%
	POCA MODULACIÓN	0	0.0%	0	0.0%	0	0.0%	0	0.0%	0	0.0%	0	0.0%	0	0.0%	0	0.0%	0	0.0%	0	0.0%	0	0.0%	0	0.0%	0	0.0%	0	0.0%	0	0.0%	0	0.0%
	MODULACIÓN LINEAL LARGA	0	0.0%	0	0.0%	0	0.0%	0	0.0%	0	0.0%	0	0.0%	0	0.0%	0	0.0%	0	0.0%	0	0.0%	0	0.0%	0	0.0%	0	0.0%	0	0.0%	0	0.0%	0	0.0%
	MODULACIÓN LINEAL CORTA	0	0.0%	0	0.0%	1	20.0%	1	2.4%	0	0.0%	0	0.0%	1	20.0%	1	2.5%	0	0.0%	0	0.0%	1	25.0%	1	2.6%	0	0.0%	0	0.0%	1	25.0%	1	2.6%
	SUBTOTAL: MODULACIÓN COMPLEJA	0	0.0%	0	0.0%	4	80.0%	40	97.6%	0	0.0%	0	0.0%	4	80.0%	39	97.5%	0	0.0%	0	0.0%	3	75.0%	38	97.4%	0	0.0%	0	0.0%	3	75.0%	38	97.4%
	SUBTOTAL: MODULACIÓN SIMPLE	0	0.0%	0	0.0%	1	20.0%	1	2.4%	0	0.0%	0	0.0%	1	20.0%	1	2.5%	0	0.0%	0	0.0%	1	25.0%	1	2.6%	0	0.0%	0	0.0%	1	25.0%	1	2.6%
	TOTAL	0	0.0%	0	0.0%	5	100%	41	100%	0	0.0%	0	0.0%	5	100%	40	100%	0	0.0%	0	0.0%	4	100%	39	100%	0	0.0%	0	0.0%	4	100%	39	100%
DURANTE AMBOS PERIODOS (DIURNO Y NOCTURNO)	GRAN MODULACIÓN	0	0.0%	0	0.0%	1	5.9%	34 (29d,5n)	14.2%	0	0.0%	0	0.0%	1	5.0%	30 (25d, 5n)	15.6%	0	0.0%	0	0.0%	1	14.2%	30 (25d, 5n)	40.5%	1	7.1%	4 {3 SF, 1 AT (0d, 1n)}	2.5%	2	9.5%	34 (28d, 6n)	14.6%
	POCA MODULACIÓN	0	0.0%	0	0.0%	4	23.5%	41 (37d, 4n)	17.2%	0	0.0%	0	0.0%	5	25.0%	39 (26d, 13n)	20.3%	0	0.0%	0	0.0%	3	42.9%	25 (14d, 11n)	33.8%	2	14.3%	22 {8 SF, 14 AT (12d, 2n)}	13.9%	5	23.8%	47 (34d, 13n)	20.2%
	MODULACIÓN LINEAL LARGA	0	0.0%	0	0.0%	0	0%	0	0.0%	0	0.0%	0	0.0%	1	5.0%	7 (6d, 1n)	3.7%	0	0.0%	0	0.0%	0	0.0%	0	0.0%	1	7.1%	8 {1 SF, 7 AT (6d, 1n)}	5.0%	1	4.8%	8 (7d, 1n)	3.4%
	MODULACIÓN LINEAL CORTA	0	0.0%	0	0.0%	12	70.6%	164 (125d, 39n)	68.6%	0	0.0%	0	0.0%	13	65.0%	116 (86d, 30n)	60.4%	0	0.0%	0	0.0%	3	42.9%	19 (5d, 14n)	25.7%	10	71.5%	125 {28 SF, 97 AT (81d, 16n)}	78.6%	13	61.9%	144 (114d, 30n)	61.8%
	SUBTOTAL: MODULACIÓN COMPLEJA	0	0.0%	0	0.0%	5	29.4%	75 (66d, 9n)	31.4%	0	0.0%	0	0.0%	6	30.0%	69 (51d, 18n)	35.9%	0	0.0%	0	0.0%	4	57.1%	55 (39d, 16n)	74.3%	3	21.4%	26 {11 SF, 15 AT (12d, 3n)}	16.4%	7	33.3%	81 (62d, 19n)	34.8%
	SUBTOTAL: MODULACIÓN SIMPLE	0	0.0%	0	0.0%	12	70.6%	164 (125d, 39n)	68.6%	0	0.0%	0	0.0%	14	70.0%	123 (92d, 31n)	64.1%	0	0.0%	0	0.0%	3	42.9%	19 (5d, 14n)	25.7%	11	78.6%	133 {29 SF, 104 AT (87d, 17n)}	83.6%	14	66.7%	152 (121d, 31n)	65.2%
	TOTAL	0	0.0%	0	0.0%	17	100%	239 (191d, 48n)	100%	0	0.0%	0	0.0%	20	100%	192 (143d, 49n)	100%	0	0.0%	0	0.0%	7	100%	74 (44d, 30n)	100%	14	100%	159 {40 SF, 119 AT (99d, 20n)}	100%	21	100%	233 (183d, 50n)	100%

**Tabla 20.** Espectrogramas de los tipos de silbidos del repertorio de los tursiones del **Acuario Six Flags**, que representan los 38 tipos de silbidos obtenidos con los 277 silbidos emitidos mostrados en la Tabla 18, de acuerdo a la categoría general a la que se asignaron. En el **Acuario Six Flags** los tursiones no silbaron durante el periodo nocturno. Todos los espectrogramas tienen una duración de 3 s (eje horizontal) y un ancho de banda (eje vertical) de 20 kHz.

PERIODO	MODULACIÓN COMPLEJA			MODULACIÓN SIMPLE					
	GRAN MODULACIÓN		POCA MODULACIÓN		MODULACIÓN LINEAL LARGA	MODULACIÓN LINEAL CORTA			
CICLO DE 24 HORAS O PERIODO DIURNO	SF 5 (9 silbidos)	SF 17 (3 silbidos)	SF 1 (125 silbidos)	SF 2 (22 silbidos)	SF 3 (15 silbidos)	SF 7 (9 silbidos)	SF 18 (3 silbidos)	SF 22 (2 silbidos)	SF 8 (8 silbidos)
	SF 21 (2 silbidos)	SF 23 (1 silbido)	SF 4 (9 silbidos)	SF 13 (4 silbidos)	SF 14 (4 silbidos)	SF 12 (5 silbidos)	SF 16 (4 silbidos)	SF 19 (3 silbidos)	SF 30 (1 silbido)
	SF 10 (6 silbidos)	SF 28 (1 silbido)	SF 24 (1 silbido)	SF 25 (1 silbido)	SF 9 (7 silbidos)	SF 31 (1 silbido)	SF 32 (1 silbido)	SF 33 (1 silbido)	SF 20 (3 silbidos)
	SF 29 (1 silbido)		SF 15 (4 silbidos)	SF 6 (9 silbidos)	SF 26 (1 silbido)	SF 34 (1 silbido)	SF 35 (1 silbido)	SF 36 (1 silbido)	SF 37 (1 silbido)
			SF 11 (5 silbidos)	SF 27 (1 silbido)		SF 38 (1 silbido)			
SUBTOTAL	7 tipos (18.4%) 23 silbidos (8.3%)		14 tipos (36.8%) 208 silbidos (75.1%)		0 tipos (0.0%) 0 silbidos (0.0%)	17 tipos (44.8%) 46 silbidos (16.6%)			
SUBTOTAL	21 tipos (55.2%) 231 silbidos (83.4%)			17 tipos (44.8%) 46 silbidos (16.6%)					
TOTAL	38 tipos 277 silbidos								

### 5.2.2. Acuario Atlantis

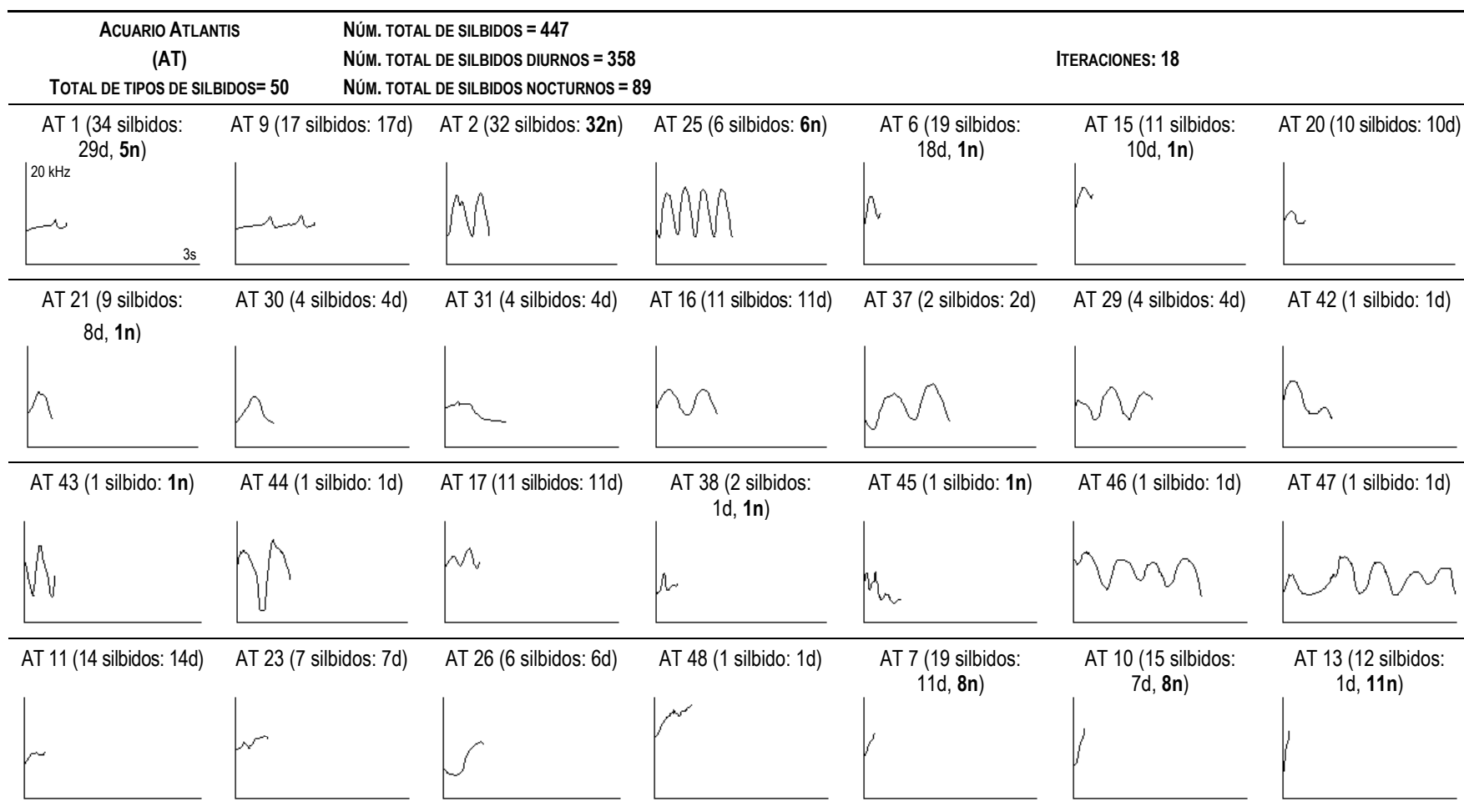
El tamaño del **repertorio de silbidos** del **Acuario Atlantis** estuvo constituido por **50 tipos de silbidos** obtenidos con **18 iteraciones** de la subrutina “**ARTwarp**” (Tabla 17, 21) a partir de los **447 silbidos** emitidos en los **1440 minutos** del ciclo de 24 horas, de los cuales **45 tipos** se emitieron durante el **periodo diurno** y **22 tipos** durante el **periodo nocturno**. Además, **28 tipos** se emitieron **exclusivamente** durante el **periodo diurno**, **5 tipos** **exclusivamente** durante el **periodo nocturno** y **17 tipos** durante **ambos periodos**.

La **variabilidad proporcional** del repertorio de silbidos del **ciclo de 24 horas** del **Acuario Atlantis** fue de **11.2%** ( $50 \text{ tipos de silbidos} / 447 \text{ silbidos} * 100$ ), del **periodo diurno** fue de **12.6%** ( $45 \text{ tipos de silbidos} / 358 \text{ silbidos} * 100$ ) y para el **periodo nocturno** fue de **24.7%** ( $22 \text{ tipos de silbidos} / 89 \text{ silbidos} * 100$ ). Es decir, el repertorio de silbidos de los tursiones del **Acuario Atlantis**, como el del Acuario de Six Flags, también fue proporcionalmente **poco variable**, es decir, los tursiones emitieron pocos tipos de silbidos de acuerdo al número total de silbidos muestreados tanto durante el periodo diurno como durante el periodo nocturno. Sin embargo, el repertorio de silbidos de los tursiones del **Acuario Atlantis** durante el **periodo nocturno** fue proporcionalmente **más variable** que el del periodo diurno.










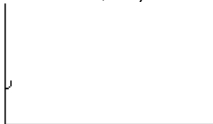
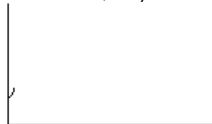

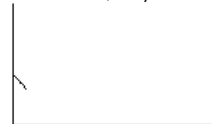
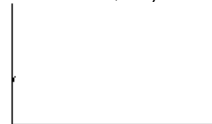
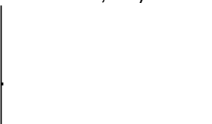

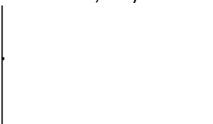





Al considerar únicamente los **tipos de silbidos exclusivos** de cada **periodo**, la **variabilidad proporcional** fue de **16.8%** ( $28 \text{ tipos de silbidos} / 167 \text{ silbidos} * 100$ ) para el **periodo diurno**, **12.2%** ( $5 \text{ tipos de silbidos} / 41 \text{ silbidos} * 100$ ) para el **periodo nocturno** y para **ambos periodos** fue de **7.1%** ( $17 \text{ tipos de silbidos} / 239 \text{ silbidos} * 100$ ) (Tabla 17). Es decir, la variabilidad proporcional del repertorio de silbidos se invirtió cuando se consideraron los tipos de silbidos emitidos únicamente durante uno de los periodos. Los tipos de silbidos exclusivos del periodo nocturno fueron proporcionalmente menos variables que los exclusivos del periodo diurno.

El **repertorio de silbidos** del **Acuario Atlantis** del ciclo de 24 horas, del periodo diurno y del periodo nocturno estuvo constituido por alrededor de un **46.9% de tipos de silbidos complejos** y un **54.1% de tipos de silbidos simples** (Tabla 19, 22), lo cual indicó que los **tipos de silbidos** del **Acuario Atlantis** fueron **casi igualmente complejos** que **simples** sin importar el periodo durante el cual se emitieron. Además, como para el **Acuario Six Flags**, de los 25 tipos de silbidos simples del ciclo de 24 horas, al menos 9 tuvieron una duración muy corta (Tabla 22).

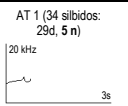
**Tabla 21.** Espectrogramas de las “neuronas” o tipos de silbidos del repertorio de silbidos de los tursiones del **Acuario Atlantis** que representan los 50 tipos de silbidos obtenidos con los 447 silbidos emitidos (358 diurnos y 89 nocturnos). Todos los espectrogramas tienen una duración de 3 s (eje horizontal) y un ancho de banda de 20 kHz (eje vertical). d=periodo diurno, n=periodo nocturno.



**Tabla 21 cont.** Espectrogramas de las “neuronas” o tipos de silbidos del repertorio de silbidos de los tursiones del **Acuario Atlantis** que representan los 50 tipos de silbidos obtenidos con los 447 silbidos emitidos (358 diurnos y 89 nocturnos). Todos los espectrogramas tienen una duración de 3 s (eje horizontal) y un ancho de banda de 20 kHz (eje vertical). d=periodo diurno, n=periodo nocturno.

ACUARIO ATLANTIS (AT)		NÚM. TOTAL DE SILBIDOS = 447			ITERACIONES: 18	
TOTAL DE TIPOS DE SILBIDOS= 50		NÚM. TOTAL DE SILBIDOS DIURNOS = 358				
		NÚM. TOTAL DE SILBIDOS NOCTURNOS = 89				
AT 18 (11 silbidos: 11d)	AT 49 (1 silbido: 1d)	AT 50 (1 silbido: 1n)	AT 3 (30 silbidos: 29d, 1n)	AT 39 (2 silbidos: 2d)	AT 5 (22 silbidos: 19d, 3n)	AT 14 (12 silbidos: 12d)
						
AT 32 (4 silbidos: 4d)	AT 8 (18 silbidos: 18d)	AT 22 (9 silbidos: 8d, 1n)	AT 24 (7 silbidos: 5d, 2n)	AT 34 (3 silbidos: 3d)	AT 27 (5 silbidos: 4d, 1n)	AT 4 (23 silbidos: 22d, 1n)
						
AT 12 (13 silbidos: 12d, 1n)	AT 19 (11 silbidos: 11d)	AT 28 (5 silbidos: 4d, 1n)	AT 33 (4 silbidos: 3d, 1n)	AT 35 (3 silbidos: 3d)	AT 36 (3 silbidos: 3d)	AT 40 (2 silbidos: 2d)
						
AT 41 (2 silbidos: 2d)						
						

**Tabla 22.** Espectrogramas de los tipos de silbidos del repertorio de los tursiones del **Acuario Atlantis**, que representan los 50 tipos de silbidos obtenidos con los 477 silbidos emitidos mostrados en la Tabla 21, de acuerdo a la categoría general a la que se asignaron. Todos los espectrogramas tienen una duración de 3 s (eje horizontal) y un ancho de banda (eje vertical) de 20 kHz.

PERIODO	MODULACIÓN COMPLEJA			MODULACIÓN SIMPLE		SUBTOTAL
	GRAN MODULACIÓN	POCA MODULACIÓN		MODULACIÓN LINEAL LARGA	MODULACIÓN LINEAL CORTA	
AMBOS PERIODOS	AT 1 (34 silbidos: 29d, 5 n) 	AT 6 (19 silbidos: 18d, 1n) AT 15 (11 silbidos: 10d, 1n) AT 21 (9 silbidos: 8d, 1n) AT 38 (2 silbidos: 1d, 1n)			AT 7 (19 silbidos: 11d, 8n) AT 10 (15 silbidos: 7d, 8n) AT 13 (12 silbidos: 1d, 11n) AT 3 (30 silbidos: 29d, 1n) AT 5 (22 silbidos: 19d, 3n) AT 22 (9 silbidos: 8d, 1n) AT 24 (7 silbidos: 5d, 2n) AT 27 (5 silbidos: 4d, 1n) AT 4 (23 silbidos: 22d, 1n) AT 12 (13 silbidos: 12d, 1n) AT 28 (5 silbidos: 4d, 1n) AT 33 (4 silbidos: 3d, 1n)	17 tipos (34.0%) 239 silbidos (191d, 48n) (53.5%)
PERIODO DIURNO	AT 9 (17 silbidos: 17d) AT 16 (11 silbidos: 11d) AT 37 (2 silbidos: 2d) AT 29 (4 silbidos: 4d) AT 42 (1 silbido: 1d) AT 44 (1 silbido: 1d) AT 11 (14 silbidos: 14d) AT 23 (7 silbidos: 7d) AT 26 (6 silbidos: 6d) AT 17 (11 silbidos: 11d) AT 46 (1 silbido: 1d) AT 47 (1 silbido: 1d)	AT 20 (10 silbidos: 10d) AT 30 (4 silbidos: 4d) AT 31 (4 silbidos: 4d) AT 11 (14 silbidos: 14d) AT 23 (7 silbidos: 7d) AT 26 (6 silbidos: 6d) AT 48 (1 silbido: 1d)	AT 49 (1 silbido: 1d)	AT 18 (11 silbidos: 11d) AT 39 (2 silbidos: 2d) AT 14 (12 silbidos: 12d) AT 32 (4 silbidos: 4d) AT 8 (18 silbidos: 18d) AT 34 (3 silbidos: 3d) AT 19 (11 silbidos: 11d) AT 35 (3 silbidos: 3d) AT 36 (3 silbidos: 3d) AT 40 (2 silbidos: 2d) AT 41 (2 silbidos: 2d)	28 tipos (56.0%) 167 silbidos (37.3%)	
PERIODO NOCTURNO	AT 2 (32 silbidos: 32n) AT 25 (6 silbidos: 6n) AT 43 (1 silbido: 1n) AT 45 (1 silbido: 1n)			AT 50 (1 silbido: 1n)	5 tipos (10.0%) 41 silbidos (9.2%)	
SUBTOTAL	14 tipos (28.0%) 123 silbidos (27.5%)	11 tipos (22.0%) 87 silbidos (19.5%)	1 tipo (2.0%) 1 silbido (0.2%)	24 tipos (48.0%) 236 silbidos (52.8%)		
SUBTOTAL	25 tipos (50.0%) 210 silbidos (47.0%)			25 tipos (50.0%) 237 silbidos (53.0%)		
TOTAL	50 tipos 447 silbidos					



En cuanto a la **complejidad del repertorio de silbidos del Acuario Atlantis** se encontró que el **valor de complejidad** del repertorio de silbidos fue de **0.58** durante el ciclo de 24 horas, **0.54** durante el periodo diurno y **0.51** durante el periodo nocturno (Tabla 17). Al igual que para el **Acuario Six Flags**, considerando que cuando se tiene una cuarta parte de tipos de silbidos de cada categoría general el valor de complejidad sería de 0.625, entonces, los valores de complejidad de 0.58, 0.54 y 0.51 obtenidos confirmaron que los **tipos de silbidos del Acuario Atlantis** fueron **casi igualmente complejos** que **simples**, sin importar el periodo durante el cual se emitieron. Además, el repertorio de silbidos de los tursiones del **Acuario Atlantis** durante el periodo diurno fue igualmente complejo que para el periodo nocturno, tanto considerando los valores de complejidad (Tabla 17), como considerando los resultados no significativos de la prueba **X<sup>2</sup>** (Tabla 23). Sin embargo, cuando se consideraron únicamente los **tipos de silbidos exclusivos** de cada **periodo**, la **complejidad** del repertorio de silbidos fue distinta entre periodos: los tipos de silbidos exclusivos del **periodo nocturno** fueron **más complejos** que los exclusivos del periodo diurno (**0.85 vs. 0.63**, respectivamente; Tabla 17) y los resultados de la prueba **X<sup>2</sup>** fueron significativos (Tabla 23) porque los tipos de silbidos emitidos en ambos periodos fueron en su mayoría tipos de silbidos con modulación simple y de poca modulación (Tabla 22), con un valor de complejidad de **0.41**.

### 5.2.3. Comparación entre ambos acuarios

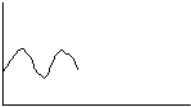
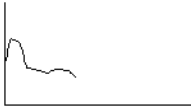

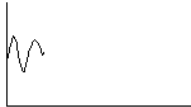








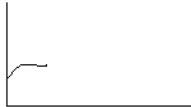
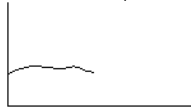

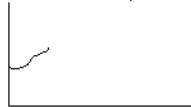
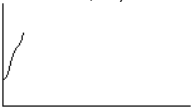

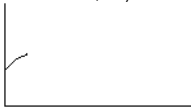

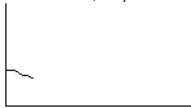
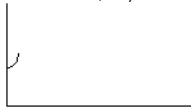



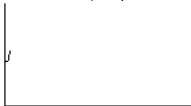




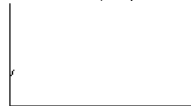
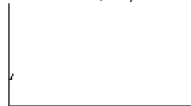

Para comparar el **repertorio de silbidos de ambos acuarios**, como ya se mencionó, se clasificaron todos los **silbidos de los acuarios en conjunto** con la subrutina “**ARTwarp**” y el **repertorio** obtenido se dividió en aquellos **tipos de silbidos de cada acuario**, los **exclusivos de cada acuario** y los **compartidos entre acuarios**. La subrutina “**ARTwarp**” no fue capaz de clasificar todos los silbidos para los acuarios en conjunto en una sola operación, como ya se mencionó, por lo que la obtención del repertorio de silbidos conjunto se obtuvo utilizando dos bloques de silbidos (Tabla 7). Con el **primer bloque**, constituido por los **silbidos con modulación compleja**, se **clasificaron los silbidos en 30 tipos con 11 iteraciones** y con el **segundo bloque**, constituido por los **silbidos con modulación lineal**, se clasificaron los **silbidos en 43 tipos con 69 iteraciones**, por lo que el repertorio de silbidos conjunto estuvo integrado por **73 tipos de silbidos**, de los cuales **33 tipos** se emitieron en **ambos acuarios** (SA) (Tabla 24), **12 tipos exclusivamente** en el **Acuario Six Flags** (ES) (Tabla 25) y **28 tipos exclusivamente** en el **Acuario Atlantis** (EA) (Tabla 26). Esto indicó que el repertorio de silbidos durante el **ciclo de 24 horas** para el **Acuario Atlantis** fue más variable que para el **Acuario Six Flags** y fue mucho más variable considerando únicamente los silbidos exclusivos (Tabla 17). Si se considera únicamente el periodo diurno, el repertorio de silbidos también fue más variable para el **Acuario Atlantis** y mucho más variable considerando únicamente los silbidos diurnos exclusivos (Tabla 17).

**Tabla 23.** Resultados de la prueba  $X^2$  de la comparación del número de tipos de silbidos y del número de silbidos de cada una de las cuatro categorías generales de silbidos entre los periodos diurno y nocturno en el **Acuario Atlantis** y entre acuarios (considerando los ciclos de 24 horas y el periodo diurno) utilizando todos los repertorios de silbidos mostrados en la tabla 17. Los números subrayados indican que existieron diferencias significativas a  $P \leq 0.001$ . Los tursiones del **Acuario Six Flags** no emitieron silbidos durante el periodo nocturno.

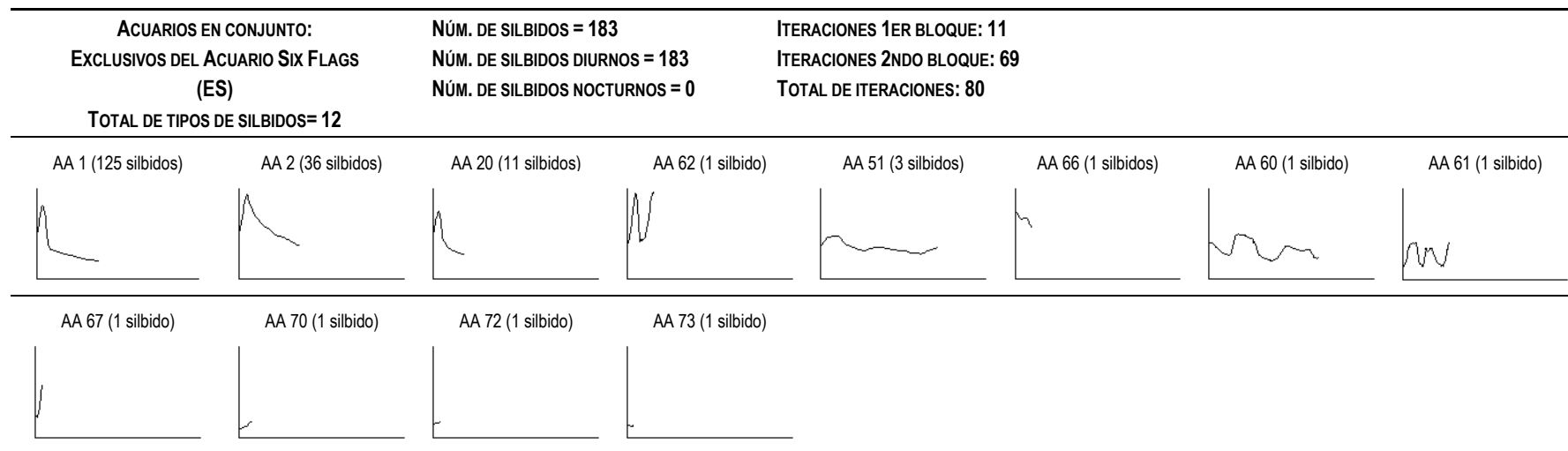
	$X^2$	
	NÚMERO DE TIPOS DE SILBIDOS	NÚMERO DE SILBIDOS
GRADOS DE LIBERTAD: 3, $X^2_{0.99} = 3.84$		
<b>COMPARACIÓN DE LOS PERIODOS DIURNO Y NOCTURNO EN EL ACUARIO ATLANTIS</b>		
A. CONSIDERANDO TODOS LOS TIPOS DE SILBIDOS (AT)	0.92	<u>35.79</u>
B. CONSIDERANDO LOS TIPOS DE SILBIDOS EXCLUSIVOS DE CADA PERIODO (AT)	<u>4.33</u>	<u>62.62</u>
C. UTILIZANDO LA CLASIFICACIÓN DE LOS ACUARIOS EN CONJUNTO (AC)	1.14	<u>27.29</u>
D. UTILIZANDO LA CLASIFICACIÓN DE LOS ACUARIOS EN CONJUNTO Y CONSIDERANDO LOS TIPOS DE SILBIDOS EXCLUSIVOS DE CADA PERIODO (AC)	<u>5.39</u>	<u>73.47</u>
E. EMITIDOS EXCLUSIVAMENTE EN EL ACUARIO ATLANTIS UTILIZANDO LA CLASIFICACIÓN DE LOS ACUARIOS EN CONJUNTO (EA)	1.73	<u>9.07</u>
F. EMITIDOS EXCLUSIVAMENTE EN EL ACUARIO ATLANTIS UTILIZANDO LA CLASIFICACIÓN DE LOS ACUARIOS EN CONJUNTO Y CONSIDERANDO LOS TIPOS DE SILBIDOS EXCLUSIVOS DE CADA PERIODO (EA)	3.28*	<u>34.35</u>
<b>COMPARACIÓN DE LOS CICLOS DE 24 HORAS EN LOS ACUARIOS SIX FLAGS Y ATLANTIS</b>		
G. CONSIDERANDO TODOS LOS TIPOS DE SILBIDOS (SF vs. AT)	3.31*	<u>219.31</u>
H. UTILIZANDO LA CLASIFICACIÓN DE LOS ACUARIOS EN CONJUNTO (SC vs. AC)	1.46	<u>200.53</u>
I. UTILIZANDO LA CLASIFICACIÓN DE LOS ACUARIOS EN CONJUNTO Y CONSIDERANDO LOS TIPOS DE SILBIDOS EXCLUSIVOS DE CADA ACUARIO (ES vs. EA)	2.69	<u>252.69</u>
<b>COMPARACIÓN DEL PERIODO DIURNO DE LOS ACUARIOS SIX FLAGS Y ATLANTIS</b>		
J. CONSIDERANDO TODOS LOS TIPOS DE SILBIDOS (SF vs. AT)	2.21	<u>170.05</u>
K. UTILIZANDO LA CLASIFICACIÓN DE LOS ACUARIOS EN CONJUNTO (SC vs. AC)	0.96	<u>168.79</u>
L. UTILIZANDO LA CLASIFICACIÓN DE LOS ACUARIOS EN CONJUNTO Y CONSIDERANDO LOS TIPOS DE SILBIDOS EXCLUSIVOS DE CADA ACUARIO (ES vs. EA)	2.27	<u>215.67</u>
M. CONSIDERANDO LOS TIPOS DE SILBIDOS EXCLUSIVOS DE CADA PERIODO (SF vs. AT)	3.43*	<u>97.80</u>
N. UTILIZANDO LA CLASIFICACIÓN DE LOS ACUARIOS EN CONJUNTO Y CONSIDERANDO LOS TIPOS DE SILBIDOS EXCLUSIVOS DE CADA PERIODO (SC vs. AC)	2.21	<u>120.23</u>
O. UTILIZANDO LA CLASIFICACIÓN DE LOS ACUARIOS EN CONJUNTO Y CONSIDERANDO LOS TIPOS DE SILBIDOS EXCLUSIVOS DE CADA ACUARIO Y LOS TIPOS DE SILBIDOS EXCLUSIVOS DE CADA PERIODO (ES vs. EA)	3.65*	<u>217.46</u>
<b>COMPARACIÓN DE LOS PERIODOS DIURNO Y NOCTURNO DE LOS TIPOS DE SILBIDOS COMPARTIDOS ENTRE ACUARIOS</b>		
P. UTILIZANDO LA CLASIFICACIÓN DE LOS ACUARIOS EN CONJUNTO (SA)	1.43	<u>217.46</u>
<b>COMPARACIÓN DE LOS PERIODOS DIURNO Y NOCTURNO PARA LOS ACUARIOS EN CONJUNTO</b>		
Q. CONSIDERANDO TODOS LOS TIPOS DE SILBIDOS (AA)	1.34	<u>63.70</u>
R. CONSIDERANDO LOS TIPOS DE SILBIDOS EXCLUSIVOS DE CADA PERIODO (AA)	<u>5.46</u>	<u>138.93</u>

\* Valores que se encuentran en el límite de significancia

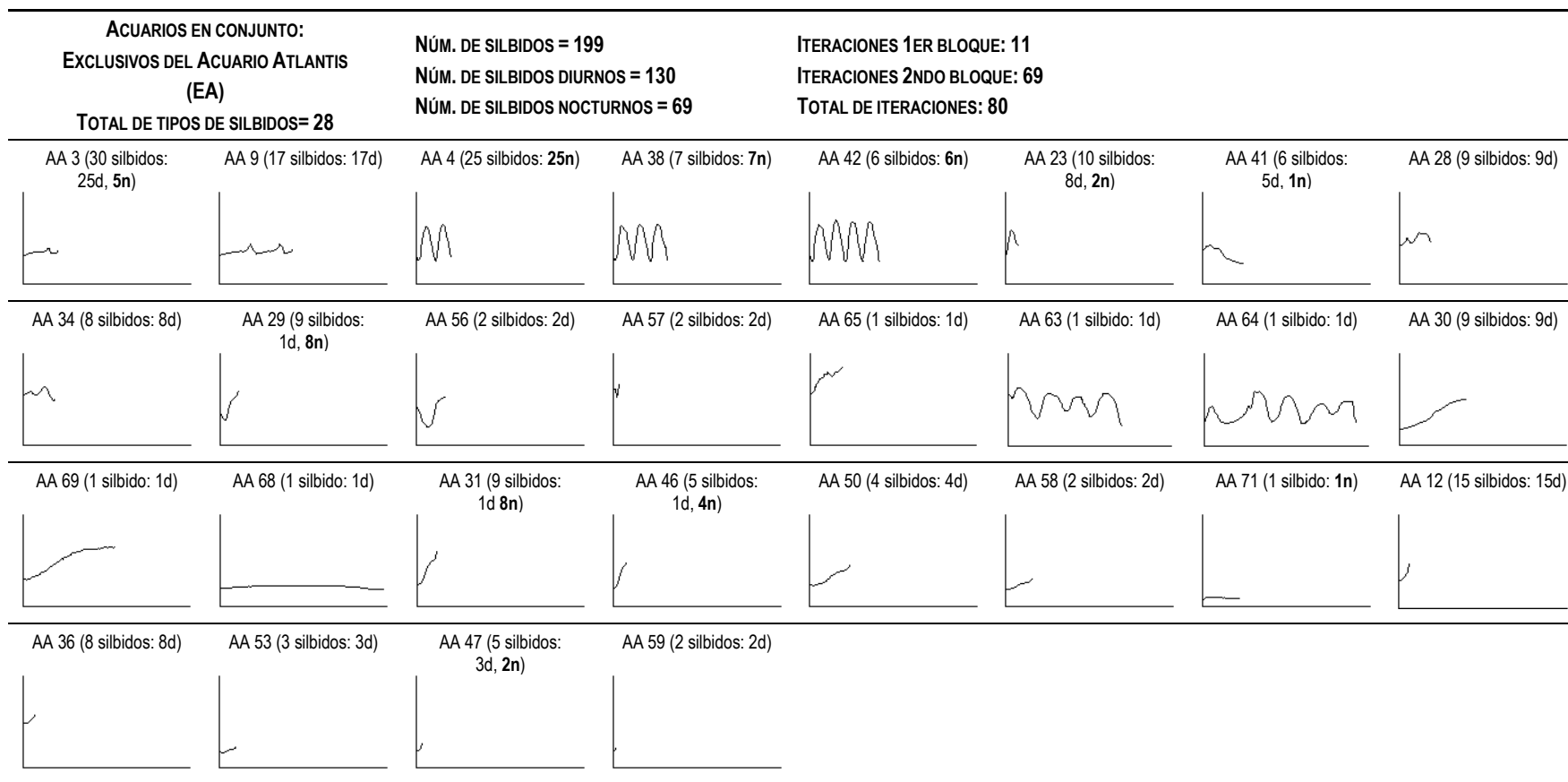
**Tabla 24.** Espectrogramas de los tipos de silbidos del repertorio de los acuarios en conjunto que representan 33 tipos de silbidos obtenidos con 342 silbidos emitidos para los dos ciclos de 24 horas. Todos los espectrogramas tienen una duración de 3 s (eje horizontal) y un ancho de banda de 20 kHz (eje vertical). d=periodo diurno, n=periodo nocturno.

<b>AMBOS ACUARIOS EN CONJUNTO:</b>		<b>NÚM. DE SILBIDOS = 342</b>		<b>ITERACIONES 1ER BLOQUE: 11</b>			
<b>EXCLUSIVOS DE AMBOS ACUARIOS (SA)</b>		<b>NÚM. DE SILBIDOS DEL ACUARIO SIX FLAGS = 94</b>		<b>ITERACIONES 2NDO BLOQUE: 69</b>			
<b>TOTAL DE TIPOS DE SILBIDOS= 33</b>		<b>NÚM. DE SILBIDOS DEL ACUARIO ATLANTIS = 248 (228 DIURNOS, 20 NOCTURNOS)</b>		<b>TOTAL DE ITERACIONES: 80</b>			
AA 6 (19 silbidos: 19d)	AA 55 (2 silbidos: 2d)	AA 18 (12 silbidos: 12d)	AA 21 (11 silbidos: 11d)	AA 32 (8 silbidos: 8d)	AA 49 (4 silbidos: 3d, 1n)	AA 13 (14 silbidos: 13d, 1n)	AA 17 (13 silbidos: 13d)
							
AA 22 (11 silbidos: 11d)	AA 33 (8 silbidos: 7d, 1n)	AA 27 (9 silbidos: 9d)	AA 52 (3 silbidos: 3d)	AA 24 (10 silbidos: 10d)	AA 35 (8 silbidos: 7d, 1n)	AA 44 (5 silbidos: 5d)	AA 10 (17 silbidos: 16d, 1n)
							
AA 45 (5 silbidos: 2d, 3n)	AA 54 (3 silbidos: 3d)	AA 7 (18 silbidos: 14d, 4n)	AA 39 (7 silbidos: 7d)	AA 43 (6 silbidos: 5d, 1n)	AA 5 (20 silbidos: 19d, 1n)	AA 8 (18 silbidos: 18d)	AA 15 (14 silbidos: 14d)
							
AA 14 (14 silbidos: 14d)	AA 25 (10 silbidos: 9d, 1n)	AA 26 (10 silbidos: 8d, 2n)	AA 40 (7 silbidos: 7d)	AA 37 (8 silbidos: 7d, 1n)	AA 48 (5 silbidos: 5d)	AA 11 (17 silbidos: 16d, 1n)	AA 16 (14 silbidos: 13d, 1n)
							
AA 19 (12 silbidos: 12d)							

**Tabla 25.** Espectrogramas de los tipos de silbidos del repertorio de los acuarios en conjunto emitidos exclusivamente por los tursiones del **Acuario Six Flags** que representan 12 tipos de silbidos obtenidos con 183 silbidos emitidos para el ciclo de 24 horas. Todos los espectrogramas tienen una duración de 3 s (eje horizontal) y un ancho de banda de 20 kHz (eje vertical).



**Tabla 26.** Espectrogramas de los tipos de silbidos del repertorio de los acuarios en conjunto emitidos exclusivamente por los tursiones del **Acuario Atlantis** que representan 28 tipos de silbidos obtenidos con 199 silbidos emitidos para el ciclo de 24 horas. Todos los espectrogramas tienen una duración de 3 s (eje horizontal) y un ancho de banda de 20 kHz (eje vertical). d=periodo diurno, n=periodo nocturno.



La **variabilidad proporcional** del repertorio de silbidos emitidos durante el **ciclo de 24 horas** en ambos acuarios fue semejante (entre 11.2 y 16.3%, Tabla 17), es decir, fue proporcionalmente **poco variable**; los tursiones de ambos acuarios emitieron pocos tipos de silbidos de acuerdo al número total de silbidos muestreados. Sin embargo, el **repertorio exclusivo de silbidos** de los tursiones de cada uno de los **acuarios** durante el **ciclo de 24 horas** fue proporcionalmente más variable para el **Acuario Atlantis** que para el **Acuario Six Flags** (6.6% vs. 14.1%, respectivamente, Tabla 17), es decir, los tursiones del **Acuario Six Flags** emitieron muchos menos tipos de silbidos exclusivos de acuerdo al número total de silbidos muestreados.

Durante el **periodo diurno**, la **variabilidad proporcional** del repertorio de silbidos en ambos acuarios fue mucho más semejante que para el ciclo de 24 horas (entre 12.6 y 16.3%, Tabla 17), es decir, en ambos acuarios durante el periodo diurno los tursiones emitieron pocos tipos de silbidos de acuerdo al número total de silbidos muestreados. Y el repertorio exclusivo de silbidos de los tursiones de cada uno de los **acuarios** durante el **periodo diurno**, como para el **ciclo de 24 horas**, también fue proporcionalmente más variable para el **Acuario Atlantis** que para el **Acuario Six Flags** (6.6% vs. 18.5%, respectivamente, Tabla 17), aun considerando el repertorio exclusivo del **periodo diurno** en el **Acuario Atlantis** (6.6% vs. 19.8%, respectivamente, Tabla 17). Entonces, durante el **periodo diurno** los tursiones emitieron pocos tipos de silbidos de acuerdo al número total de silbidos muestreados en **ambos acuarios**, aunque los tursiones del **Acuario Six Flags** emitieron menos tipos de silbidos de acuerdo al número total de silbidos muestreados.

El **repertorio de silbidos** para ambos acuarios durante el **ciclo de 24 horas** y durante el periodo diurno estuvo constituido por aproximadamente la mitad de **tipos de silbidos complejos** y la mitad de **tipos de silbidos simples** (Tabla 19, 20, 22), lo cual indicó que los **tipos de silbidos** de ambos acuarios fueron **casi igualmente complejos** que **simples** durante el **ciclo de 24 horas** y durante el periodo diurno. Además, alrededor del 36% de los tipos de silbidos simples de ambos acuarios tuvieron una duración muy corta (Tabla 18, 21).

La **complejidad** del repertorio de silbidos para ambos acuarios durante el **ciclo de 24 horas** y durante el periodo diurno, incluyendo el repertorio exclusivo de cada uno de los **acuarios** y el del periodo diurno, fue **semejante** (Tabla 17). Considerando que cuando se tiene una cuarta parte de tipos de silbidos de cada categoría general el valor de complejidad sería de 0.625, entonces, los valores de complejidad de obtenidos (entre 0.49 y 0.65, Tabla 17), al igual que los resultados no significativos de la prueba **X<sup>2</sup>** (Tabla 23), confirmaron que los **tipos de silbidos** emitidos durante el **ciclo de 24 horas** y durante el periodo diurno en ambos acuarios, exclusivamente en cada uno de los acuarios o para los acuarios en conjunto fueron **casi igualmente complejos** que **simples** (Tabla 27).

**Tabla 27.** Espectrogramas de los tipos de silbidos del repertorio emitidos por los tursiones de los acuarios en conjunto de acuerdo a la categoría general a la que se asignaron y que representan los 73 tipos de silbidos obtenidos con los 724 silbidos emitidos en ambos acuarios durante ambos periodos. Todos los espectrogramas tienen una duración de 3 s (eje horizontal) y un ancho de banda (eje vertical) de 20 kHz. d=periodo diurno, n=periodo nocturno.

ACUARIO	PERIODO	MODULACIÓN COMPLEJA						MODULACIÓN SIMPLE					SUBTOTAL		
		GRAN MODULACIÓN			POCA MODULACIÓN			MODULACIÓN LINEAL LARGA	MODULACIÓN LINEAL CORTA						
AMBOS ACUARIOS	DIURNOS DE AMBOS ACUARIOS	AA 6 (19 silbidos: 19d)	AA 55 (2 silbidos: 2d)	AA 21 (11 silbidos: 11d)	AA 17 (13 silbidos: 13d)	AA 22 (11 silbidos: 11d)	AA 18 (12 silbidos: 12d)	AA 32 (8 silbidos: 8d)	AA 44 (5 silbidos: 5d)	AA 54 (3 silbidos: 3d)	AA 39 (7 silbidos: 7d)	AA 8 (18 silbidos: 18d)	AA 14 (14 silbidos: 14d)	AA 15 (14 silbidos: 14d)	19 tipos (26.2%) 183 silbidos (25.3%)
	DIURNOS SF Y NOCTURNO AT	AA 49 (4 silbidos: 3d, 1n)			AA 27 (9 silbidos: 9d)	AA 52 (3 silbidos: 3d)	AA 24 (10 silbidos: 10d)			AA 40 (7 silbidos: 7d)	AA 48 (5 silbidos: 5d)	AA 19 (12 silbidos: 12d)			
AMBOS ACUARIOS	DIURNOS SF Y AMBOS PERIODOS AT				AA 13 (14 silbidos: 13d, 1n)	AA 33 (8 silbidos: 7d, 1n)		AA 35 (8 silbidos: 7d, 1n)	AA 10 (17 silbidos: 16d, 1n)	AA 45 (5 silbidos: 2d, 3n)	AA 7 (18 silbidos: 14d, 4n)	AA 43 (6 silbidos: 5d, 1n)	AA 5 (20 silbidos: 19d, 1n)	13 tipos (17.8%) 155 silbidos (21.4%)	
	DIURNOS SF Y AMBOS PERIODOS AT								AA 25 (10 silbidos: 9d, 1n)	AA 26 (10 silbidos: 8d, 2n)	AA 37 (8 silbidos: 7d, 1n)	AA 11 (17 silbidos: 16d, 1n)	AA 16 (14 silbidos: 13d, 1n)	33 tipos (45.2%) 342 silbidos (47.2%)	
EXCLUSIVOS DEL ACUARIO SIX FLAS	DIURNOS	AA 60 (1 silbido: 1d)	AA 61 (1 silbido: 1d)	AA 62 (1 silbido: 1d)	AA 1 (125 silbidos: 125d)	AA 2 (36 silbidos: 36d)	AA 20 (11 silbidos: 11d)	AA 51 (3 silbidos: 3d)		AA 67 (1 silbido: 1d)	AA 70 (1 silbido: 1d)	AA 72 (1 silbido: 1d)	AA 73 (1 silbido: 1d)	12 tipos (16.4%) 183 silbidos (25.3%)	
	DIURNOS				AA 66 (1 silbido: 1d)									12 tipos (16.4%) 183 silbidos (25.3%)	
EXCLUSIVOS DEL ACUARIO ATLANTIS	DIURNOS	AA 9 (17 silbidos: 17d)	AA 28 (9 silbidos: 9d)	AA 34 (8 silbidos: 8d)	AA 56 (2 silbidos: 2d)	AA 65 (1 silbidos: 1d)	AA 57 (2 silbidos: 2d)	AA 30 (9 silbidos: 9d)	AA 69 (1 silbido: 1d)	AA 50 (4 silbidos: 4d)	AA 58 (2 silbidos: 2d)	AA 12 (15 silbidos: 15d)	AA 36 (8 silbidos: 8d)	AA 53 (3 silbidos: 3d)	17 tipos (23.3%) 86 silbidos (11.9%)
	DIURNOS	AA 63 (1 silbido: 1d)	AA 64 (1 silbido: 1d)					AA 68 (1 silbido: 1d)		AA 59 (2 silbidos: 2d)				4 tipos (5.5%) 39 silbidos (5.4%)	
	NOCTURNOS	AA 4 (25 silbidos: 25n)	AA 38 (7 silbidos: 7n)	AA 42 (6 silbidos: 6n)							AA 71 (1 silbido: 1n)				28 tipos (38.4%) 198 silbidos (27.5%)
	AMBOS PERIODOS	AA 3 (30 silbidos: 25d, 5n)			AA 23 (10 silbidos: 8d, 2n)	AA 41 (6 silbidos: 5d, 1n)	AA 29 (9 silbidos: 1d, 8n)				AA 31 (9 silbidos: 1d 8n)	AA 46 (5 silbidos: 1d, 4n)	AA 47 (5 silbidos: 3d, 2n)		7 tipos (9.6%) 74 silbidos (10.2%)
SUBTOTAL	16 tipos (21.9%) 143 silbidos (19.8%)			20 tipos (27.4%) 294 silbidos (40.6%)			5 tipos (6.9%) 24 silbidos (3.3%)		32 tipos (43.8%) 263 silbidos (36.3%)						
SUBTOTAL	36 tipos (49.3%) 437 silbidos (60.4%)						37 tipos (50.7%) 287 silbidos (39.6%)								
TOTAL	73 tipos 724 silbidos														

Finalmente, los 33 tipos de silbidos compartidos representaron el 73.3% del repertorio total del **Acuario Six Flags** y el 54.1% del repertorio total del **Acuario Atlantis**, es decir, el repertorio de silbidos de ambos acuarios fue en su mayoría compartido (Tabla 24). Además, los tipos de silbidos que los tursiones del **Acuario Atlantis** compartieron con los del **Acuario Six Flags** los emitieron tanto durante el día como durante la noche (Tabla 27), por lo que los silbidos compartidos no fueron exclusivamente diurnos.

Los tipos de silbidos compartidos tuvieron una menor complejidad que los exclusivos de cada acuario (0.49 vs. 0.59 y 0.66, Tabla 17), debido a que los tursiones de ambos acuarios compartieron principalmente tipos de silbidos de modulación lineal corta (24.7% de los 73 tipos de silbidos) y tipos de silbidos de poca modulación (12.3% de los 73 tipos de silbidos, Tabla 27). Además, al comparar la complejidad de los tipos de silbidos compartidos diurnos y nocturnos se encontró que los silbidos diurnos fueron un poco más complejos que los nocturnos considerando los valores de complejidad obtenidos (0.49 vs. 0.39, Tabla 17), aunque los resultados de la prueba  $\chi^2$  no fueron significativos (Tabla 23).

Cabe mencionar que se esperaba que el número de tipos de silbidos para cada acuario hubiese sido igual cuando se hizo la clasificación utilizando únicamente los contornos de silbidos de cada acuario que cuando se hizo la clasificación utilizando los contornos de silbidos de los acuarios en conjunto, es decir, el repertorio de silbidos de cada acuario analizado independientemente no resultó ser la suma de los tipos de silbidos exclusivos del **Acuario Six Flags** o de los tipos de silbidos exclusivos del **Acuario Atlantis** más los tipos de silbidos compartidos en ambos acuarios cuando los silbidos se analizaron en conjunto. Al realizar la clasificación de silbidos de los acuarios en conjunto se obtuvieron **45 tipos de silbidos** para el **Acuario Six Flags** (SC) (Tabla 17, 28) y **61 tipos de silbidos** para el **Acuario Atlantis** (AC) (Tabla 17, 29), que resultaron ser más tipos de silbidos que los **38 tipos de silbidos** del repertorio del **Acuario Six Flags** (SF) (Tabla 17, 18) y que los **50 tipos de silbidos** del repertorio del **Acuario Atlantis** (AC) (Tabla 17, 21) obtenidos cuando se clasificaron los silbidos de cada acuario por separado. Para el **Acuario Six Flags** se tuvieron siete tipos de silbidos de diferencia porque los tipos de silbidos de modulación lineal larga aumentaron en dos tipos (de cero a dos), los tipos de silbidos de modulación lineal corta aumentaron en cuatro tipos (de 17 a 23), los tipos de gran modulación disminuyeron en un tipo (de 7 a 6) y los tipos de poca modulación disminuyeron en un tipo y aumentaron en tres tipos (de 14 a 16). Para el **Acuario Atlantis** se tuvieron 11 tipos de silbidos de diferencia porque los tipos de silbidos de gran modulación disminuyeron en dos tipos de silbido (de 14 a 12), los tipos de silbidos con poca modulación y de modulación lineal larga aumentaron en cuatro tipos cada uno (de 11 a 15 y de uno a cinco, respectivamente) y los tipos de silbidos de modulación lineal corta disminuyeron en un tipo y aumentaron en seis tipos (de 24 a 29). Entonces, la subrutina “**ARTwarp**”, por ser una red neuronal, va a clasificar los silbidos de manera distinta de acuerdo a la base de datos que se le proporcione, así como del orden en que se alimenten los contornos de los silbidos. Sin embargo, cabe mencionar que cuando se calculó la complejidad del repertorio utilizando los tipos de silbidos obtenidos con esta subrutina, los valores fueron muy semejantes



independientemente de la clasificación utilizada, como ya se mencionó. Es decir, las pequeñas variaciones en el repertorio de silbidos obtenido no influyeron ni en el valor de complejidad calculado (Tabla 17) ni en los resultados de las comparaciones estadísticas realizadas (Tabla 23). Por ello, cuando se usan otras mediciones, como el valor de complejidad y la reclasificación de los tipos de silbidos en cuatro categorías generales utilizadas en este estudio, no importan los detalles finos de la clasificación de los silbidos.

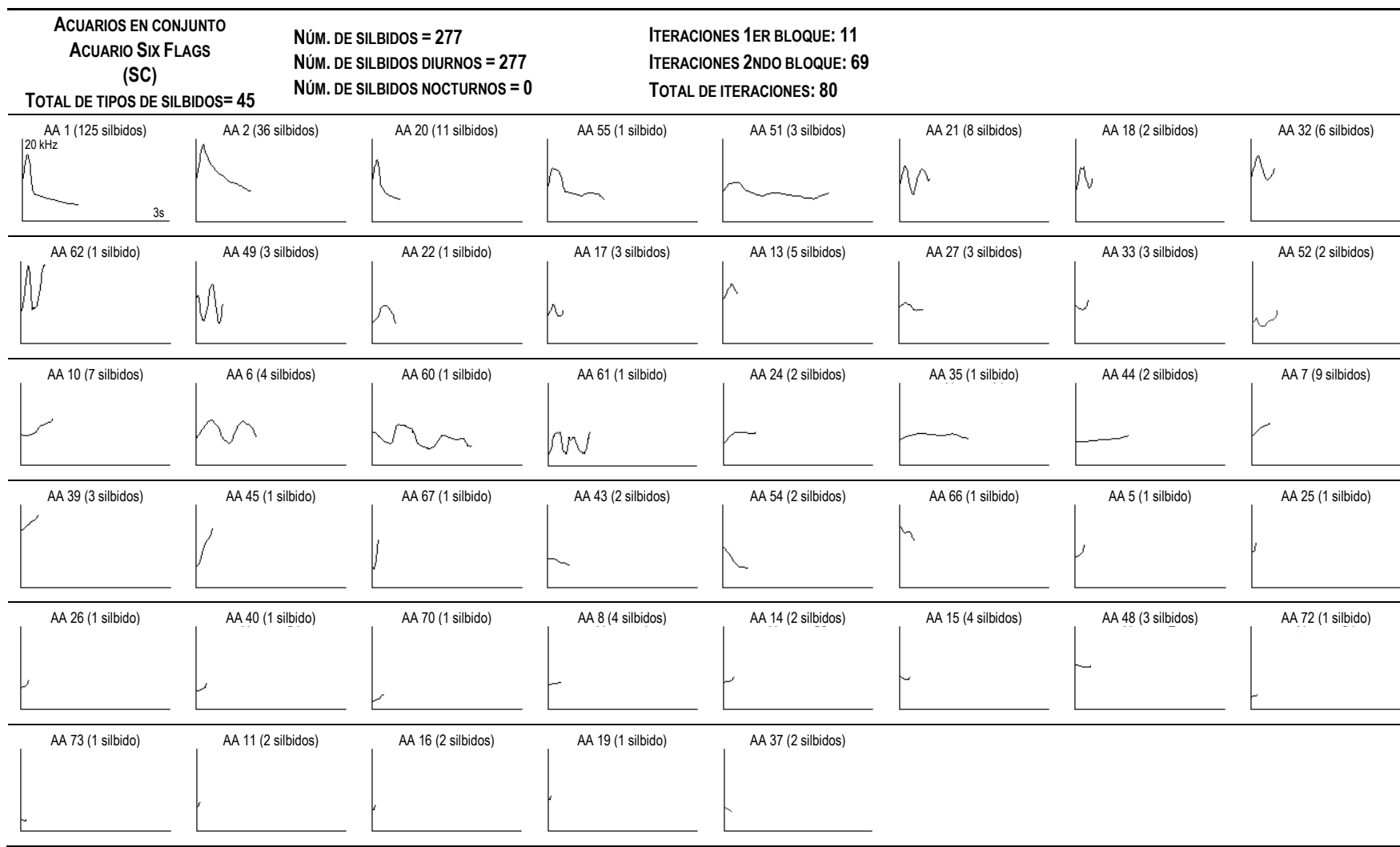
#### 5.2.4. Acuarios en conjunto

Como la emisión de silbidos en ambos acuarios fue muy similar, se describieron los silbidos de todas las tursiones en cautiverio estudiados para representar el repertorio de silbidos de cuatro tursiones en cautiverio en la Ciudad de México, es decir, se consideraron los acuarios en conjunto considerando el periodo en el que fueron emitidos los silbidos sin importar el acuario en el que fueron emitidos. Entonces, el tamaño del **repertorio de silbidos de los acuarios en conjunto** estuvo constituido por **73 tipos de silbidos** obtenidos con **80 iteraciones** de la subrutina “ARTwarp” (Tabla 30) a partir de los **724 silbidos** grabados en ambos acuarios. Como ya se mencionó, la clasificación se hizo con dos bloques de silbidos (Tabla 7). Con el primer bloque (silbidos complejos) se **clasificaron los silbidos en 30 tipos de silbidos con 11 iteraciones** y con el segundo bloque (silbidos simples) se **clasificaron los silbidos en 43 tipos de silbidos con 69 iteraciones**.

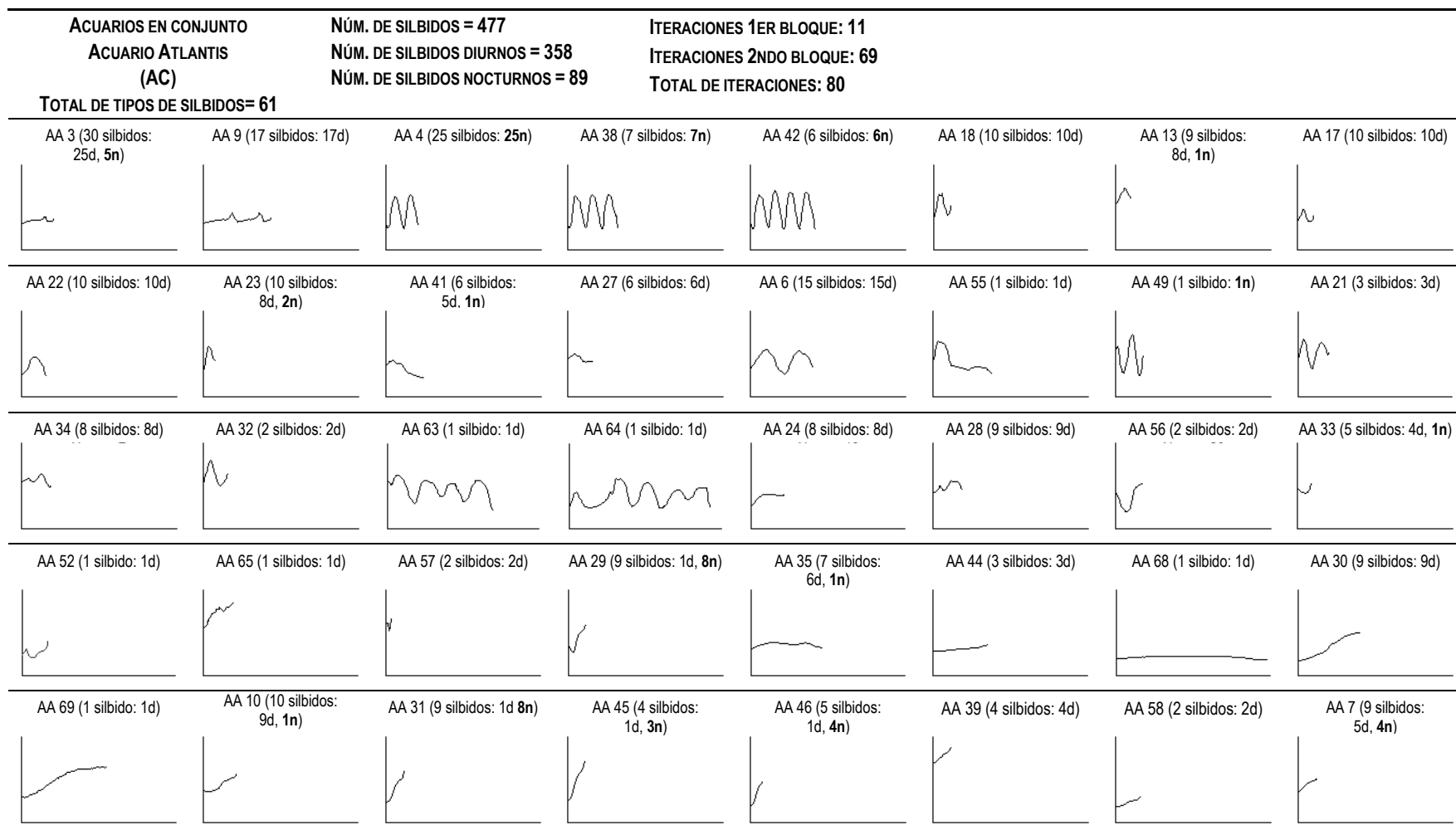
Tomando este **repertorio de silbidos de los acuarios en conjunto** como un solo repertorio se obtuvieron **69 tipos de silbidos** emitidos durante el **periodo diurno** y **25 tipos de silbidos** emitidos durante el **periodo nocturno** (Tabla 17). Al considerar los **tipos de silbidos exclusivos** de cada **periodo**, se obtuvieron **48 tipos de silbidos** emitidos **exclusivamente** durante el **periodo diurno**, **4 tipos de silbidos** emitidos **exclusivamente** durante el **periodo nocturno** y **21 tipos de silbidos** emitidos **exclusivamente** durante **ambos periodos**. Esto indicó que el repertorio de silbidos de los acuarios en conjunto durante el **periodo diurno** fue mucho más variable que para el **periodo nocturno** y fue todavía más variable considerando únicamente los silbidos exclusivos (Tabla 17).

La **variabilidad proporcional** del **repertorio de silbidos de los acuarios en conjunto** durante el **ciclo de 24 horas** fue de **10.1%** ( $73 \text{ tipos de silbidos} / 724 \text{ silbidos} * 100$ ), del **periodo diurno** fue de **10.9%** ( $69 \text{ tipos de silbidos} / 635 \text{ silbidos} * 100$ ) y para el **periodo nocturno** fue de **28.1%** ( $25 \text{ tipos de silbidos} / 89 \text{ silbidos} * 100$ ) (Tabla 17). Es decir, el repertorio de silbidos de las tursiones de los acuarios en conjunto fue proporcionalmente **poco variable**; las tursiones emitieron pocos tipos de silbidos de acuerdo al número total de silbidos muestreados tanto durante el ciclo de 24 horas, como durante los periodos diurno y nocturno. Sin embargo, el repertorio de silbidos de las tursiones de ambos acuarios durante el **periodo nocturno** fue proporcionalmente **más variable** que durante el periodo diurno.

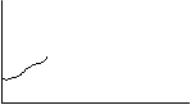




















**Tabla 28.** Espectrogramas de los tipos de silbidos del repertorio de los acuarios en conjunto emitidos por los tursiones del **Acuario Six Flags** que representan los 45 tipos de silbidos obtenidos con 277 silbidos emitidos tanto para el ciclo de 24 horas como para el periodo diurno (en el **Acuario Six Flags** no se emitieron silbidos durante el periodo nocturno). Todos los espectrogramas tienen una duración de 3 s (eje horizontal) y un ancho de banda de 20 kHz (eje vertical).



**Tabla 29.** Espectrogramas de los tipos de silbidos del repertorio de los acuarios en conjunto emitidos por los tursiones del **Acuario Atlantis** que representan 61 tipos de silbidos obtenidos con 447 silbidos emitidos durante el ciclo de 24 horas. Todos los espectrogramas tienen una duración de 3 s (eje horizontal) y un ancho de banda de 20 kHz (eje vertical). d=periodo diurno, n=periodo nocturno.



**Tabla 29 cont.** Espectrogramas de los tipos de silbidos del repertorio de los acuarios en conjunto emitidos por los tursiones del **Acuario Atlantis** que representan 61 tipos de silbidos obtenidos con 447 silbidos emitidos durante el ciclo de 24 horas. Todos los espectrogramas tienen una duración de 3 s (eje horizontal) y un ancho de banda de 20 kHz (eje vertical). d=periodo diurno, n=periodo nocturno.

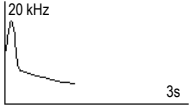


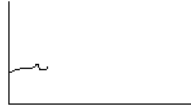
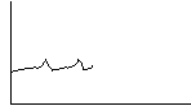



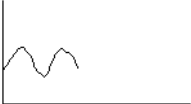
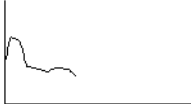
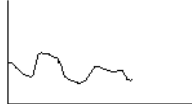










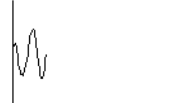
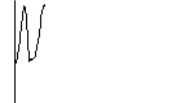

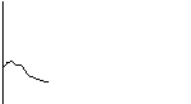



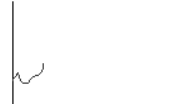




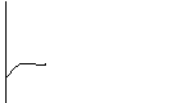




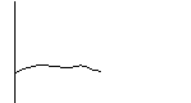

ACUARIOS EN CONJUNTO ACUARIO ATLANTIS (AC)		NÚM. DE SILBIDOS = 477 NÚM. DE SILBIDOS DIURNOS = 358 NÚM. DE SILBIDOS NOCTURNOS = 89		ITERACIONES 1ER BLOQUE: 11 ITERACIONES 2NDO BLOQUE: 69 TOTAL DE ITERACIONES: 80		TOTAL DE TIPOS DE SILBIDOS= 61	
AA 50 (4 silbidos: 4d)	AA 54 (1 silbido: 1d)	AA 43 (4 silbidos: 3d, 1n)	AA 71 (1 silbido: 1n)	AA 5 (19 silbidos: 18d, 1n)	AA 12 (15 silbidos: 15d)	AA 14 (12 silbidos: 12d)	AA 15 (10 silbidos: 10d)
							
AA 25 (9 silbidos: 8d, 1n)	AA 26 (9 silbidos: 7d, 2n)	AA 36 (8 silbidos: 8d)	AA 40 (6 silbidos: 6d)	AA 47 (5 silbidos: 3d, 2n)	AA 53 (3 silbidos: 3d)	AA 8 (14 silbidos: 14d)	AA 37 (6 silbidos: 5d, 1n)
							
AA 48 (2 silbidos: 2d)	AA 11 (15 silbidos: 14d, 1n)	AA 16 (12 silbidos: 11d, 1n)	AA 19 (11 silbidos: 11d)	AA 59 (2 silbidos: 2d)			
							

Al considerar únicamente los **tipos de silbidos exclusivos** de cada **periodo**, la **variabilidad proporcional** fue de **10.6%** (48 tipos de silbidos / 452 silbidos \* 100) para el **periodo diurno**, **10.3%** (4 tipos de silbidos / 39 silbidos \* 100) para el **periodo nocturno** y para **ambos periodos** fue de **9.0%** (21 tipos de silbidos / 233 silbidos \* 100) (Tabla 17). Es decir, el repertorio exclusivo de silbidos de los tursiones de los acuarios en conjunto también fue proporcionalmente **poco variable** durante el ciclo de 24 horas, como durante los periodos diurno y nocturno. Además, el repertorio exclusivo de silbidos de los tursiones de ambos acuarios durante el **periodo nocturno** fue proporcionalmente **igual de variable** que durante el periodo diurno.


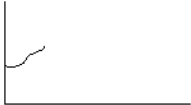































El **repertorio de silbidos** en conjunto del ciclo de 24 horas, del periodo diurno y del periodo nocturno estuvo constituido por alrededor de un **45.7% de tipos de silbidos complejos** y un **54.3% de tipos de silbidos simples** (Tabla 19, 31), lo cual indicó que los **tipos de silbidos** de los acuarios en conjunto también fueron **casi igualmente complejos** que **simples** sin importar el periodo durante el cual se emitieron. Además, como para ambos acuarios, el 36.0% de los tipos de silbidos simples del ciclo de 24 horas de los acuarios en conjunto tuvieron una duración muy corta (Tabla 30). En cuanto a la **complejidad del repertorio de silbidos** en conjunto se encontró que el **valor de complejidad** fue de **0.57** durante el ciclo de 24 horas, **0.55** durante el periodo diurno y **0.51** durante el periodo nocturno (Tabla 17), considerando que cuando se tiene una cuarta parte de tipos de silbidos de cada categoría general el valor de complejidad sería de 0.625, entonces, los valores de complejidad obtenidos confirman que los **tipos de silbidos de ambos acuarios** fueron **casi igualmente complejos** que **simples** sin importar el periodo durante el cual se emitieron. Además, el repertorio de silbidos de los tursiones de ambos acuarios durante el **ciclo de 24 horas** fue casi igualmente complejo que para el **periodo diurno y nocturno**, tanto considerando los valores de complejidad (Tabla 17), como considerando los resultados no significativos de la prueba **X<sup>2</sup>** (Tabla 23).

El **repertorio de silbidos** en conjunto exclusivos del periodo diurno estuvo constituido por un **54.2% de tipos de silbidos complejos** y un **45.8% de tipos de silbidos simples** (Tabla 19), lo cual indicó que los **tipos de silbidos** exclusivamente del periodo diurno de los acuarios en conjunto también fueron **casi igualmente complejos** que **simples**. Sin embargo, los tipos de silbidos exclusivos del periodo nocturno fueron un **75.0% de tipos de silbidos complejos** y un **25.0% de tipos de silbidos simples** y los exclusivos de ambos periodos fueron un 33.3% complejos y un 66.7% simples (Tabla 19), lo cual indicó que los **tipos de silbidos** exclusivamente del periodo nocturno de los acuarios en conjunto fueron **más complejos** que **simples** y que los **tipos de silbidos** compartidos entre ambos periodos de los acuarios en conjunto fueron **más simples** que **complejos**. La **complejidad** del repertorio de silbidos fue distinta entre periodos: los tipos de silbidos exclusivos del **periodo nocturno** fueron **más complejos** que los exclusivos del periodo diurno (**0.81 vs. 0.60**, respectivamente; Tabla 17, 31) y los resultados de la prueba **X<sup>2</sup>** fueron significativos (Tabla 23) porque los tipos de silbidos emitidos en ambos periodos fueron en su mayoría tipos de silbidos con modulación simple y de poca modulación (Tabla 31), con un valor de complejidad de **0.45** (Tabla 17).

**Tabla 30.** Espectrogramas de los tipos de silbidos del repertorio de los tursiones de los acuarios en conjunto que representan los 73 tipos de silbidos obtenidos con los 724 silbidos emitidos (635 diurnos y 89 nocturnos) durante dos ciclos de 24 horas. Todos los espectrogramas tienen una duración de 3 s (eje horizontal) y un ancho de banda de 20 kHz (eje vertical). d=periodo diurno, n=periodo nocturno.

ACUARIOS EN CONJUNTO (AA) TOTAL DE TIPOS DE SILBIDOS= 73		NÚM. DE SILBIDOS = 724 NÚM. DE SILBIDOS DIURNOS = 635 NÚM. DE SILBIDOS NOCTURNOS = 89		ITERACIONES 1ER BLOQUE: 11 ITERACIONES 2NDO BLOQUE: 69 TOTAL DE ITERACIONES: 80			
AA 1 (125 silbidos: 125d) 	AA 2 (36 silbidos: 36d) 	AA 20 (11 silbidos: 11d) 	AA 3 (30 silbidos: 25d, 5n) 	AA 9 (17 silbidos: 17d) 	AA 4 (25 silbidos: 25n) 	AA 38 (7 silbidos: 7n) 	AA 42 (6 silbidos: 6n) 
AA 6 (19 silbidos: 19d) 	AA 55 (2 silbidos: 2d) 	AA 60 (1 silbido: 1d) 	AA 61 (1 silbido: 1d) 	AA 13 (14 silbidos: 13d, 1n) 	AA 17 (13 silbidos: 13d) 	AA 22 (11 silbidos: 11d) 	AA 23 (10 silbidos: 8d, 2n) 
AA 33 (8 silbidos: 7d, 1n) 	AA 18 (12 silbidos: 12d) 	AA 21 (11 silbidos: 11d) 	AA 32 (8 silbidos: 8d) 	AA 56 (2 silbidos: 2d) 	AA 49 (4 silbidos: 3d, 1n) 	AA 62 (1 silbido: 1d) 	AA 27 (9 silbidos: 9d) 
AA 41 (6 silbidos: 5d, 1n) 	AA 51 (3 silbidos: 3d) 	AA 28 (9 silbidos: 9d) 	AA 34 (8 silbidos: 8d) 	AA 52 (3 silbidos: 3d) 	AA 63 (1 silbido: 1d) 	AA 64 (1 silbido: 1d) 	AA 65 (1 silbido: 1d) 
AA 66 (1 silbido: 1d) 	AA 24 (10 silbidos: 10d) 	AA 29 (9 silbidos: 1d, 8n) 	AA 57 (2 silbidos: 2d) 	AA 30 (9 silbidos: 9d) 	AA 69 (1 silbido: 1d) 	AA 35 (8 silbidos: 7d, 1n) 	AA 44 (5 silbidos: 5d) 

**Tabla 30 cont.** Espectrogramas de los tipos de silbidos del repertorio de silbidos de los tursiones de los acuarios en conjunto que representan los 73 tipos de silbidos obtenidos con los 724 silbidos emitidos (635 diurnos y 89 nocturnos). Todos los espectrogramas tienen una duración de 3 s (eje horizontal) y un ancho de banda de 20 kHz (eje vertical). d=periodo diurno, n=periodo nocturno.

ACUARIOS EN CONJUNTO (AA) TOTAL DE TIPOS DE SILBIDOS= 73		NÚM. DE SILBIDOS = 724 NÚM. DE SILBIDOS DIURNOS = 635 NÚM. DE SILBIDOS NOCTURNOS = 89		ITERACIONES 1ER BLOQUE: 11 ITERACIONES 2NDO BLOQUE: 69 TOTAL DE ITERACIONES: 80			
AA 68 (1 silbido: 1d)	AA 10 (17 silbidos: 16d, 1n)	AA 50 (4 silbidos: 4d)	AA 31 (9 silbidos: 1d 8n)	AA 45 (5 silbidos: 2d, 3n)	AA 46 (5 silbidos: 1d, 4n)	AA 67 (1 silbido: 1d)	AA 7 (18 silbidos: 14d, 4n)
							
AA 39 (7 silbidos: 7d)	AA 58 (2 silbidos: 2d)	AA 54 (3 silbidos: 3d)	AA 43 (6 silbidos: 5d, 1n)	AA 71 (1 silbido: 1n)	AA 5 (20 silbidos: 19d, 1n)	AA 12 (15 silbidos: 15d)	AA 25 (10 silbidos: 9d, 1n)
							
AA 47 (5 silbidos: 3d, 2n)	AA 14 (14 silbidos: 14d)	AA 26 (10 silbidos: 8d, 2n)	AA 36 (8 silbidos: 8d)	AA 40 (7 silbidos: 7d)	AA 53 (3 silbidos: 3d)	AA 70 (1 silbido: 1d)	AA 15 (14 silbidos: 14d)
							
AA 37 (8 silbidos: 7d, 1n)	AA 8 (18 silbidos: 18d)	AA 48 (5 silbidos: 5d)	AA 11 (17 silbidos: 16d, 1n)	AA 16 (14 silbidos: 13d, 1n)	AA 19 (12 silbidos: 12d)	AA 59 (2 silbidos: 2d)	AA 72 (1 silbido: 1d)
							
AA 73 (1 silbido: 1d)							
							

**Tabla 31.** Espectrogramas de los tipos de silbidos del repertorio emitidos por los tursiones de los acuarios en conjunto de acuerdo a la categoría general a la que se asignaron y que representan los 73 tipos de silbidos obtenidos con los 724 silbidos emitidos durante los periodos diurno y nocturno de dos ciclos de 24 horas. Todos los espectrogramas tienen una duración de 3 s (eje horizontal) y un ancho de banda (eje vertical) de 20 kHz. d=periodo diurno, n=periodo nocturno.

PERIODO	MODULACIÓN COMPLEJA			MODULACIÓN SIMPLE						SUBTOTAL	
	GRAN MODULACIÓN		POCA MODULACIÓN	MODULACIÓN LINEAL LARGA	MODULACIÓN LINEAL CORTA						
AMBOS PERIODOS	AA 3 (30 silbidos: 25d, 5n) AA 49 (4 silbidos: 3d, 1n)		AA 13 (14 silbidos: 13d, 1n) AA 23 (10 silbidos: 8d, 2n) AA 33 (8 silbidos: 7d, 1n)	AA 35 (8 silbidos: 7d, 1n)	AA 10 (17 silbidos: 16d, 1n) AA 31 (9 silbidos: 1d 8n) AA 45 (5 silbidos: 2d, 3n) AA 46 (5 silbidos: 1d, 4n) AA 7 (18 silbidos: 14d, 4n)						21 tipos (28.8%) 233 silbidos (183d, 50n) (32.2%)
			AA 41 (6 silbidos: 5d, 1n) AA 29 (9 silbidos: 1d, 8n)		AA 43 (6 silbidos: 5d, 1n) AA 5 (20 silbidos: 19d, 1n) AA 25 (10 silbidos: 9d, 1n) AA 26 (10 silbidos: 8d, 2n) AA 47 (5 silbidos: 3d, 2n)	AA 37 (8 silbidos: 7d, 1n) AA 11 (17 silbidos: 16d, 1n) AA 16 (14 silbidos: 13d, 1n)					
PERIODO DIURNO	AA 9 (17 silbidos: 17d) AA 6 (19 silbidos: 19d) AA 55 (2 silbidos: 2d)	AA 1 (125 silbidos: 125d) AA 2 (36 silbidos: 36d) AA 20 (11 silbidos: 11d)	AA 30 (9 silbidos: 9d)	AA 50 (4 silbidos: 4d) AA 67 (1 silbido: 1d) AA 54 (3 silbidos: 3d) AA 39 (7 silbidos: 7d) AA 58 (2 silbidos: 2d)						48 tipos (63.7%) 462 silbidos (62.4%)	
	AA 60 (1 silbido: 1d) AA 61 (1 silbido: 1d) AA 21 (11 silbidos: 11d)	AA 17 (13 silbidos: 13d) AA 22 (11 silbidos: 11d) AA 18 (12 silbidos: 12d)	AA 44 (5 silbidos: 5d)	AA 8 (18 silbidos: 18d) AA 12 (15 silbidos: 15d) AA 14 (14 silbidos: 14d) AA 15 (14 silbidos: 14d) AA 36 (8 silbidos: 8d)							
	AA 62 (1 silbido: 1d) AA 28 (9 silbidos: 9d) AA 34 (8 silbidos: 8d)	AA 32 (8 silbidos: 8d) AA 56 (2 silbidos: 2d) AA 27 (9 silbidos: 9d)	AA 69 (1 silbido: 1d)	AA 40 (7 silbidos: 7d) AA 53 (3 silbidos: 3d) AA 48 (5 silbidos: 5d) AA 19 (12 silbidos: 12d) AA 59 (2 silbidos: 2d)							
	AA 63 (1 silbido: 1d) AA 64 (1 silbido: 1d)	AA 51 (3 silbidos: 3d) AA 52 (3 silbidos: 3d) AA 65 (1 silbidos: 1d)	AA 68 (1 silbido: 1d)	AA 70 (1 silbido: 1d) AA 72 (1 silbido: 1d) AA 73 (1 silbido: 1d)							
PERIODO NOCTURNO	AA 4 (25 silbidos: 25n) AA 38 (7 silbidos: 7n) AA 42 (6 silbidos: 6n)				AA 71 (1 silbido: 1n)						4 tipos (5.5%) 39 silbidos (5.4%)
	SUBTOTAL		16 tipos (21.9%) 143 silbidos (19.8%)	20 tipos (27.4%) 294 silbidos (40.6%)	5 tipos (6.9%) 24 silbidos (3.3%)	32 tipos (43.8%) 263 silbidos (36.3%)					
SUBTOTAL		36 tipos (49.3%) 437 silbidos (60.4%)			37 tipos (50.7%) 287 silbidos (39.6%)						
TOTAL		73 tipos 724 silbidos									

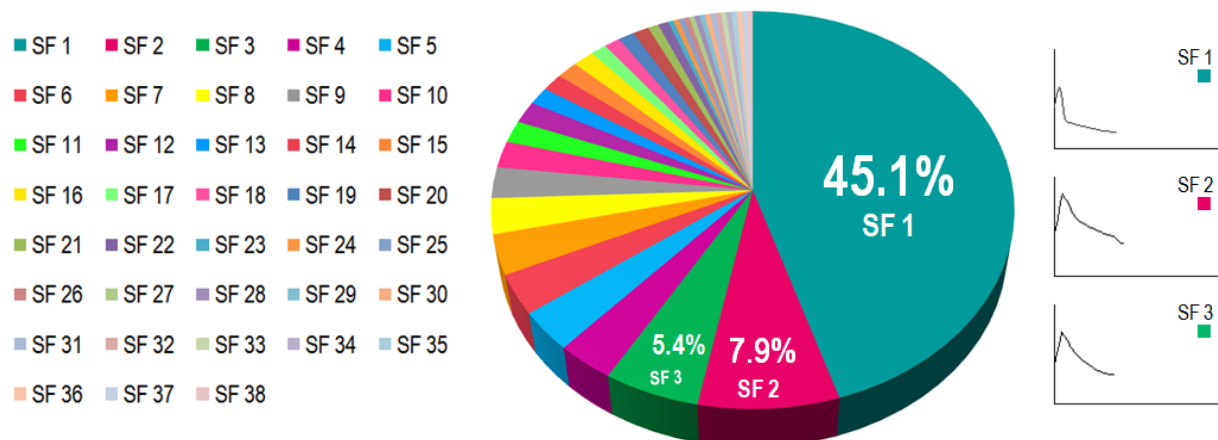


### 5.3. Uso de silbidos

#### 5.3.1. Acuario Six Flags

En el **Acuario Six Flags** los tursiones emitieron un total de **277 silbidos** de **38 tipos** durante el **ciclo de 24 horas** y únicamente durante el **periodo diurno**, ya que los tursiones no emitieron silbidos durante el periodo nocturno. De estos **277 silbidos** el **90.6%** fueron de **18 tipos** (47% del repertorio; Tabla 18, 32, Figura 25). El **resto** de los **20 tipos de silbidos** se emitieron sólo una, dos o tres veces (9.4% de los silbidos), destacando que el **23.7%** del **repertorio** (9 tipos de silbidos) se emitieron **una sola vez**.

Los tres **tipos de silbidos más utilizados** por los tursiones del **Acuario Six Flags** fueron el **SF 1**, el **SF 2** y el **SF 3** (7.9% del repertorio, 58.4% de los silbidos; Tabla 18, 32, Figura 25). El **tipo SF 1** representó el **45.1%** de los silbidos con **125 silbidos**, el **tipo SF 2** representó el **7.9%** con **22 silbidos** y el **tipo SF 3** representó el **5.4%** con **15 silbidos**. Esto indica que los tursiones del **Acuario Six Flags** utilizaron con mayor frecuencia un solo tipo de silbido de poca modulación (complejidad de 0.75) y que la cuarta parte de los tipos de silbidos solamente se emitieron una vez (Tabla 32, Figura 25). Entonces, los tursiones del **Acuario Six Flags** usaron con mayor frecuencia algunos tipos de silbidos y esto se vio reflejado en una pequeña **variabilidad proporcional** del uso que le dieron los tursiones a sus silbidos en el **Acuario Six Flags** (del 13.7%, Tabla 17) y en una distribución de silbidos o **equitabilidad E** de **0.67** (Tabla 33).



**Figura 25.** Número de silbidos emitidos de cada uno de los 38 tipos de silbidos del repertorio del ciclo de 24 horas en el **Acuario Six Flags (SF)**, mostrando los espectrogramas de los tres tipos de silbidos más ocurrentes. **N=277 silbidos**.

**Tabla 32.** Número de silbidos emitidos de cada uno de los 38 tipos de silbidos del repertorio del ciclo de 24 horas en el **Acuario Six Flags**, mostrando el porcentaje correspondiente de los 277 silbidos.

NOMBRE DEL TIPO DE SILBIDO	# SILBIDOS	PORCENTAJE	NOMBRE DEL TIPO DE SILBIDO	# SILBIDOS	PORCENTAJE	NOMBRE DEL TIPO DE SILBIDO	# SILBIDOS	PORCENTAJE
SF 1	125	45.1	SF 16	4	1.4	SF 31	1	0.4
SF 2	22	7.9	SF 17	3	1.1	SF 32	1	0.4
SF 3	15	5.4	SF 18	3	1.1	SF 33	1	0.4
SF 4	9	3.2	SF 19	3	1.1	SF 34	1	0.4
SF 5	9	3.2	SF 20	3	1.1	SF 35	1	0.4
SF 6	9	3.2	SF 21	2	0.6	SF 36	1	0.4
SF 7	9	3.2	SF 22	2	0.6	SF 37	1	0.4
SF 8	8	2.9	SF 23	1	0.4	SF 38	1	0.4
SF 9	7	2.5	SF 24	1	0.4			
SF 10	6	2.2	SF 25	1	0.4			
SF 11	5	1.8	SF 26	1	0.4			
SF 12	5	1.8	SF 27	1	0.4			
SF 13	4	1.4	SF 28	1	0.4			
SF 14	4	1.4	SF 29	1	0.4			
SF 15	4	1.4	SF 30	1	0.4			
						TOTAL	277	100.0

### 5.3.2. Acuario Atlantis

En el **Acuario Atlantis** los tursiones emitieron un total de **447 silbidos** de **50 tipos** durante los periodos diurno y nocturno del **ciclo de 24 horas**. De estos 447 silbidos, el 90.2% fueron de 29 tipos (58% del repertorio; Tabla 21, 34, Figura 26). El **resto** de los 21 **tipos de silbidos** se emitieron sólo una, dos, tres o cuatro veces (**9.8%** de los silbidos), destacando que el **2.0%** del **repertorio** (9 tipos de silbidos) se emitieron **una sola vez**.

Los **siete tipos de silbidos más utilizados** por los tursiones del **Acuario Atlantis** durante el **ciclo de 24 horas** fueron del **AT 1 al AT 7** (14.0% del repertorio, 40.0% de los silbidos; Tabla 21, 34, Figura 26; complejidad de 0.54). Los tipos **AT 1, AT 2** y **AT 3** se utilizaron con casi igual frecuencia, los cuales fueron principalmente tipos de silbidos complejos (complejidad de 0.75), así como los AT4 al AT7, los cuales fueron principalmente tipos de silbidos simples (complejidad de 0.38). Esto indica que los tursiones del **Acuario Atlantis** durante el ciclo de 24 horas utilizaron más tipos de silbidos en lugar de un solo tipo de silbido como en el **Acuario Six Flags** y que sólo una pequeña parte de los tipos de silbidos se emitieron una sola vez (Tabla 34, Figura 26). Esto se vio reflejado en una **variabilidad proporcional** del uso que le dieron los tursiones a sus silbidos en el **Acuario Atlantis** pequeña (del 11.2%, Tabla 17) y en una distribución de silbidos o **equitabilidad** E grande (**0.90**, Tabla 33).

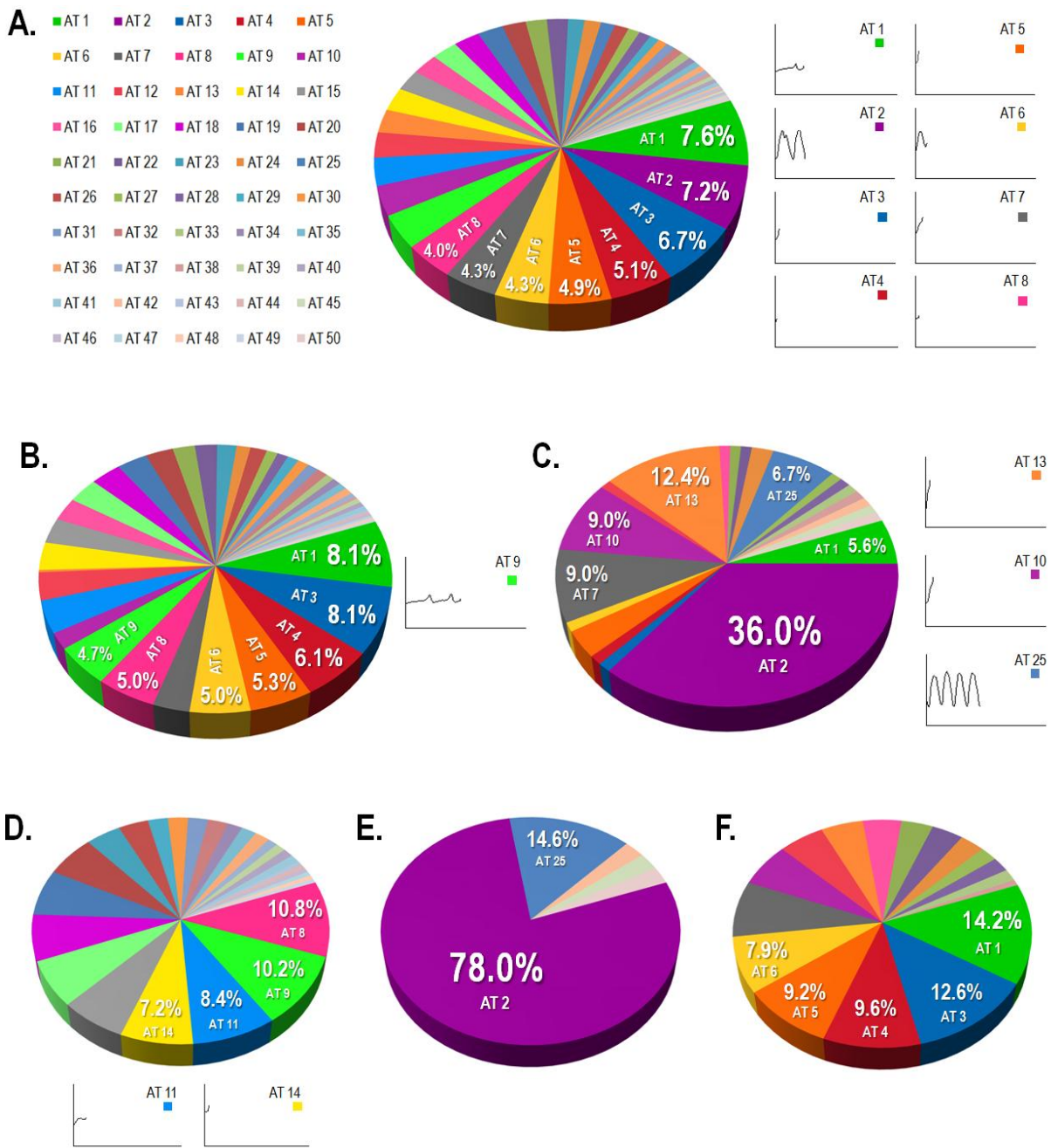
**Tabla 33.** Índice de riqueza o índice de diversidad de Shannon  $H'$  y equitatividad  $E$  para los silbidos emitidos en los Acuarios Six Flags y Atlantis y en ambos acuarios en conjunto.  $N$ =número de silbidos,  $S$ =número de tipos de silbidos,  $H_{\max}$ =valor máximo de  $H'$ .

	ACUARIO								
	SIX FLAGS (SF)	ATLANTIS (AT)	ACUARIOS EN CONJUNTO					ACUARIOS EN CONJUNTO (AA)	
			SIX FLAGS (SC)	ATLANTIS (AC)	EXCLUSIVO SIX FLAGS (ES)	EXCLUSIVO ATLANTIS (EA)	EXCLUSIVO AMBOS ACUARIOS (SA)		
CICLO DE 24 HORAS	NÚMERO DE TIPOS DE SILBIDOS	38	50	45	61	12	28	33	73
	NÚMERO DE SILBIDOS	277	447	277	447	183	199	342 {94 SF, 248 AT (228d, 20n)}	724
	$H'$	2.42	3.51	1.30	2.65	0.61	1.16	1.95	3.72
	$H_{\max}$	3.64	3.91	3.81	4.11	2.48	3.33	3.50	4.29
	$E$	0.67	0.90	0.34	0.64	0.25	0.35	0.56	0.87
PERIODO DIURNO	NÚMERO DE TIPOS DE SILBIDOS	38	45	45	57	12	24	33	69
	NÚMERO DE SILBIDOS	277	358	277	358	183	130	322	635
	$H'$	2.42	2.92	1.30	2.18	0.61	0.79	1.95	3.26
	$H_{\max}$	3.64	3.81	3.81	4.03	2.48	3.18	3.50	4.23
	$E$	0.67	0.77	0.34	0.54	0.25	0.25	0.56	0.77
PERIODO NOCTURNO	NÚMERO DE TIPOS DE SILBIDOS	0	22	0	25	0	11	0	25
	NÚMERO DE SILBIDOS	0	89	0	89	0	69	0	89
	$H'$	0	0.78	0	0.58	0	0.41	0	0.58
	$H_{\max}$	0	3.09	0	3.22	0	2.40	0	3.22
	$E$	0	0.25	0	0.18	0	0.17	0	0.18
EXCLUSIVAMENTE PERIODO DIURNO	NÚMERO DE TIPOS DE SILBIDOS	38	28	45	36	12	17	33	48
	NÚMERO DE SILBIDOS	277	167	277	215	183	86	322	452
	$H'$	2.42	1.48	1.30	1.33	0.61	0.54	1.95	2.21
	$H_{\max}$	3.64	3.33	3.81	3.58	2.48	2.83	3.50	3.87
	$E$	0.67	0.44	0.34	0.37	0.25	0.19	0.56	0.57
EXCLUSIVAMENTE PERIODO NOCTURNO	NÚMERO DE TIPOS DE SILBIDOS	0	5	0	4	0	4	0	4
	NÚMERO DE SILBIDOS	0	41	0	39	0	39	0	39
	$H'$	0	0.29	0	0.21	0	0.21	0	0.21
	$H_{\max}$	0	1.61	0	1.39	0	1.39	0	1.39
	$E$	0	0.18	0	0.15	0	0.15	0	0.15
DURANTE AMBOS PERIODOS (DIURNO Y NOCTURNO)	NÚMERO DE TIPOS DE SILBIDOS	0	17	0	21	0	7	0	21
	NÚMERO DE SILBIDOS	0	239 (191d, 48n)	0	193 (143d, 50n)	0	74 (44d, 30n)	0	233 (183d, 50n)
	$H'$	0	1.74	0	1.12	0	0.41	0	1.30
	$H_{\max}$	0	2.83	0	3.04	0	1.95	0	3.04
	$E$	0	0.61	0	0.37	0	0.21	0	0.43

**Tabla 34.** Número de silbidos emitidos de cada uno de los 50 tipos de silbidos del repertorio del ciclo de 24 horas en el **Acuario Atlantis** de acuerdo al periodo, mostrando el porcentaje correspondiente de los 447 silbidos.

	NOMBRE DEL TIPO DE SILBIDO	# SILBIDOS	PORCENTAJE	NOMBRE DEL TIPO DE SILBIDO	# SILBIDOS	PORCENTAJE	NOMBRE DEL TIPO DE SILBIDO	# SILBIDOS	PORCENTAJE	NOMBRE DEL TIPO DE SILBIDO	# SILBIDOS	PORCENTAJE	NOMBRE DEL TIPO DE SILBIDO	# SILBIDOS	PORCENTAJE	SUBTOTAL			
DURANTE AMBOS PERIODOS (DIURNO Y NOCTURNO)	AT 1	34	7.6	AT 7	19	4.2	AT 21	9	2.1	AT 33	4	0.9				17 TIPOS (34.0%) 239 SILBIDOS (53.5%)			
	AT 3	30	6.7	AT 10	15	3.3	AT 22	9	2.1	AT 38	2	0.5							
	AT 4	23	5.1	AT 12	13	2.9	AT 24	7	1.6										
	AT 5	22	4.9	AT 13	12	2.7	AT 27	5	1.1										
	AT 6	19	4.2	AT 16	11	2.5	AT 28	5	1.1										
EXCLUSIVAMENTE PERIODO DIURNO	AT 8	18	4.0	AT 17	11	2.5	AT 26	6	1.3	AT 34	3	0.7	AT 40	2	0.4	AT 47	1	0.2	28 TIPOS (56.0%) 167 SILBIDOS (37.4%)
	AT 9	17	3.8	AT 18	11	2.5	AT 29	4	0.9	AT 35	3	0.7	AT 41	2	0.4	AT 48	1	0.2	
	AT 11	14	3.1	AT 19	11	2.5	AT 30	4	0.9	AT 36	3	0.7	AT 43	1	0.2	AT 49	1	0.2	
	AT 14	12	2.7	AT 20	10	2.3	AT 31	4	0.9	AT 37	2	0.4	AT 44	1	0.2				
	AT 15	11	2.5	AT 23	7	1.7	AT 32	4	0.9	AT 39	2	0.4	AT 46	1	0.2				
EXCLUSIVAMENTE PERIODO NOCTURNO	AT 2	32	7.2													5 TIPOS (10.0%) 41 SILBIDOS (9.1%)			
	AT 25	6	1.3																
	AT 42	1	0.2																
	AT 45	1	0.2																
	AT 50	1	0.2																
													TOTAL	447	100.0	50 TIPOS (100.0%) 447 SILBIDOS (100.0%)			

Durante el **periodo diurno** los **cinco tipos de silbidos más utilizados** por los tursiones fueron casi los mismos que para el ciclo de 24 horas, los tipos simples **AT 1, AT 3, AT 4, AT 5 y AT 6** (Tabla 21, Figura 26; complejidad de 0.50), mientras que durante el **periodo nocturno** utilizaron más otros tipos de silbidos, **seis tipos de silbidos complejos AT 1, AT 2, AT 7, AT 10, AT 13 y AT 25** (Tabla 21, Figura 26; complejidad de 0.63). Los tipos de silbidos utilizados exclusivamente en cada periodo también fueron de otros tipos: exclusivamente durante el **periodo diurno** los tursiones utilizaron principalmente **ocho tipos de silbidos simples** (los tipos **AT 8, AT 9, AT 11, AT 14, AT 15, AT 17, AT 18 y AT 19**; Tabla 21, Figura 26; complejidad de 0.34) y **exclusivamente durante el periodo nocturno** fueron únicamente **dos tipos de silbidos complejos**, los **AT 2 y AT 25** (Tabla 21, Figura 26; complejidad de 1.00). Además, la **variabilidad proporcional** del uso que le dieron los tursiones a sus silbidos en el **Acuario Atlantis** durante el periodo diurno fue pequeña (del 12.6 al 16.8%, Tabla 17), con una mediana equitabilidad (de 0.44 a 0.77, Tabla 33), mientras que durante el periodo nocturno la variabilidad proporcional fue mayor (del 12.2 al 24.7%, Tabla 17), con una menor equitabilidad (de 0.18 a 0.25, Tabla 33). Esto indica que los tursiones del **Acuario Atlantis** durante el periodo diurno utilizaron con casi igual frecuencia los tipos de silbidos simples más usados, mientras que durante el periodo nocturno utilizaron principalmente un solo tipo de silbido complejo (el tipo AT 2), es decir, el uso de los distintos tipos de silbidos por los tursiones del **Acuario Atlantis** de acuerdo a las cuatro categorías generales de complejidad fue distinto entre periodos (Tabla 23).



**Figura 26.** Número de silbidos emitidos de cada uno de los 50 tipos de silbidos del repertorio en el **Acuario Atlantis** (AT) para (A.) el ciclo de 24 horas (**N=447 silbidos**), para (B.) los periodos diurno (**N=358 silbidos**) y (C.) nocturno (**N=89 silbidos**) y para (D.) exclusivamente el periodo diurno (**N=167 silbidos**), (E.) exclusivamente el periodo nocturno (**N=41 silbidos**) y (F.) para ambos periodos (**N=239 silbidos**), mostrando los espectrogramas de los tipos de silbidos más ocurrentes.

Durante **ambos periodos** los tursiones del **Acuario Atlantis** utilizaron **más seis tipos de silbidos simples** que fueron casi los mismos que para el ciclo de 24 horas, los **tipos AT 1, AT 3, AT 4, AT 5, AT 6 y AT 7** (Tabla 21, Figura 26; complejidad de 0.46). Además, la **variabilidad proporcional** del uso que le dieron los tursiones a sus silbidos en el **Acuario Atlantis** durante ambos periodos fue pequeña (del 7.1%, Tabla 17) con una mediana equitabilidad (de 0.61, Tabla 33). Esto indica que los tipos de silbidos que los tursiones del **Acuario Atlantis** utilizaron durante ambos periodos los usaron con casi igual frecuencia, como durante todo el ciclo de 24 horas y durante el periodo diurno, y que estos tipos de silbidos fueron principalmente simples.

### 5.3.3. Comparación entre acuarios

Como para la comparación del repertorio de silbidos de ambos acuarios, se clasificaron todos los **silbidos de los acuarios en conjunto** con la **subrutina “ARTwarp”** y el **repertorio** obtenido se dividió en aquellos **tipos de silbidos de cada acuario**, los **exclusivos de cada acuario** y los **compartidos entre acuarios**. Posteriormente, se contabilizaron los **silbidos** de cada tipo, como ya se mencionó (Tabla 35). Se obtuvieron **33 tipos de silbidos** con **342 silbidos** (94 silbidos del **Acuario Six Flags** y 248 silbidos del **Acuario Atlantis**) compartidos entre **ambos acuarios** (Tabla 29, Figura 27), **12 tipos con 183 silbidos exclusivamente** para el **Acuario Six Flags** (Tabla 30, Figura 28) y **28 tipos con 199 silbidos exclusivamente** en el **Acuario Atlantis** (Tabla 31, Figura 29), lo cual representó 45 tipos de silbidos para el **Acuario Six Flags** (Figura 30) y 61 tipos para el **Acuario Atlantis** (Figura 31).

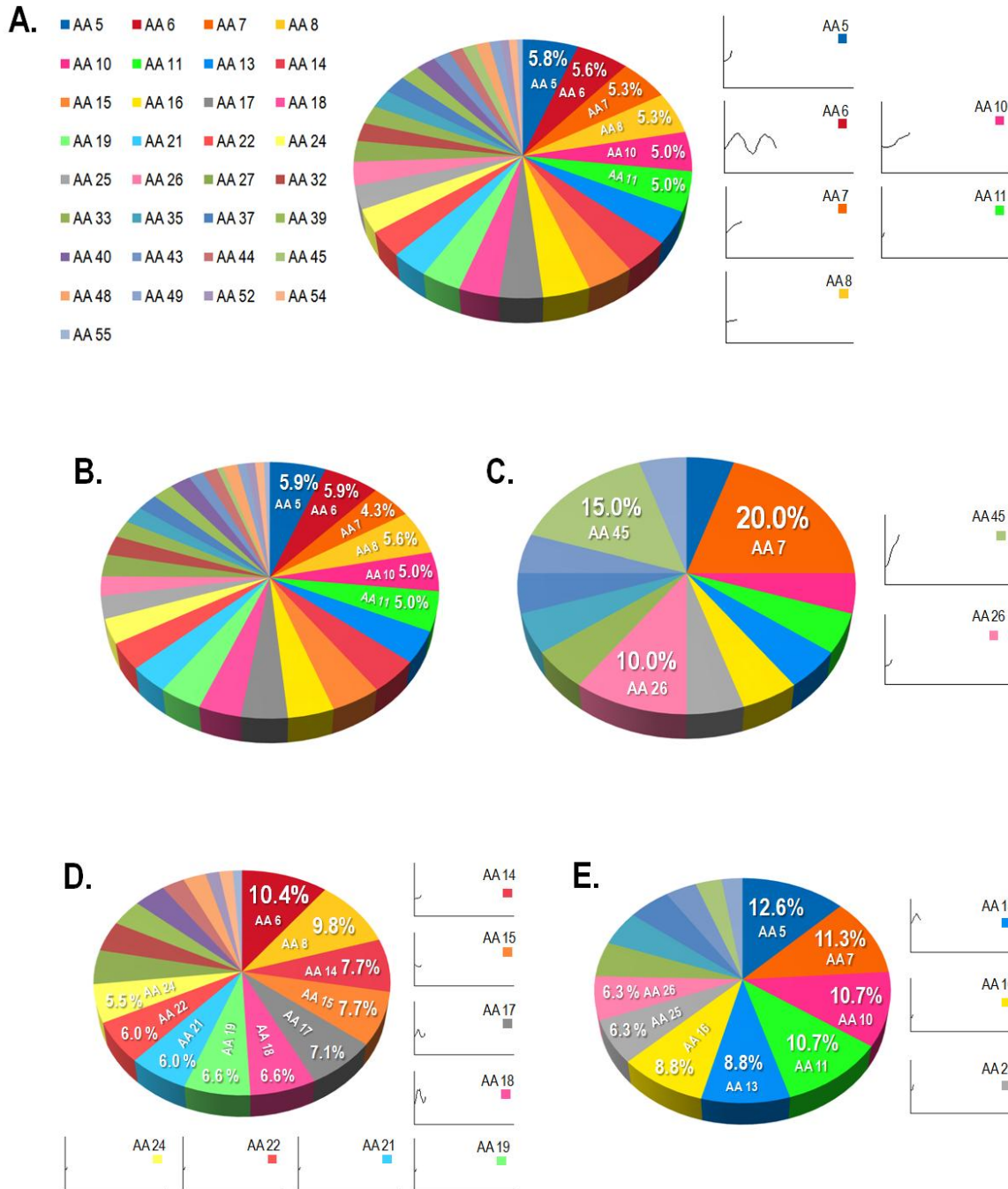
En el **Acuario Six Flags** tres tipos de silbidos fueron los más utilizados durante el **ciclo de 24 horas**, aunque utilizaron con mayor frecuencia un solo tipo de silbido (45.1% de los silbidos, Tabla 32, 35, Figura 25, 28, 30), y la cuarta parte de los tipos de silbidos solamente se emitieron una vez (Tabla 32, Figura 25). Esto se vio reflejado en una pequeña variabilidad proporcional (del 13.7%, Tabla 17) y en una equitabilidad entre mediana y pequeña (Tabla 33). Por el contrario, en el **Acuario Atlantis** siete fueron los tipos de silbidos más utilizados durante el ciclo de 24 horas, casi en igual proporción, y solamente el 2.0% de los tipos de silbidos se emitieron una vez (Tabla 34, 35, Figura 26, 29, 31). Esto se vio reflejado en una pequeña variabilidad proporcional (Tabla 17) y en una equitabilidad E entre grande y mediana (Tabla 33). Entonces, el uso de los tipos de silbidos en ambos acuarios durante el ciclo de 24 horas fue muy diferente (Tabla 23).

Durante el **periodo diurno** en el **Acuario Atlantis**, cinco fueron los tipos de silbidos más utilizados por los tursiones y fueron casi los mismos que para el ciclo de 24 horas. Los tipos de silbidos utilizados exclusivamente durante el periodo diurno fueron principalmente de otros ocho tipos. Pero, aunque la variabilidad proporcional durante el

periodo diurno en ambos acuarios fue mucho más semejante (del 12.6 al 16.8%, Tabla 17), con una mediana equitabilidad (de 0.44 a 0.77, Tabla 33), los tursiones del **Acuario Atlantis** durante el periodo diurno también utilizaron los tipos de silbidos de manera diferente a los tursiones del **Acuario Six Flags** (Tabla 23).

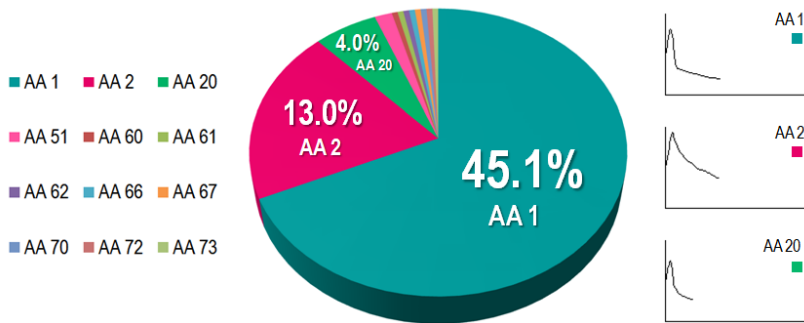
**Tabla 35.** Número de silbidos emitidos de cada uno de los repertorios de silbidos de los acuarios en conjunto mostrados en la tabla 17, mostrando el porcentaje correspondiente del número de silbidos de cada repertorio.

ACUARIO SIX FLAGS (SC)			EXCLUSIVOS DEL ACUARIO SIX FLAGS (ES)			ACUARIO ATLANTIS (AC)			EXCLUSIVOS DEL ACUARIO ATLANTIS (EA)			EXCLUSIVOS AMBOS ACUARIOS (SA)			
NOMBRE DEL TIPO DE SILBIDO	# SILBIDOS	PORCENTAJE	NOMBRE DEL TIPO DE SILBIDO	# SILBIDOS	PORCENTAJE	NOMBRE DEL TIPO DE SILBIDO	# SILBIDOS	PORCENTAJE	NOMBRE DEL TIPO DE SILBIDO	# SILBIDOS	PORCENTAJE	NOMBRE DEL TIPO DE SILBIDO	# SILBIDOS	PORCENTAJE	
AA 1	125	45.1	AA 35	1	0.4	AA 1	125	68.4	AA 3	30	6.7	AA 41	6	1.3	
AA 2	36	13.0	AA 40	1	0.4	AA 2	36	19.8	AA 4	25	5.6	AA 42	6	1.3	
AA 20	11	4.0	AA 45	1	0.4	AA 20	11	6.1	AA 5	19	4.3	AA 4	25	12.6	
AA 7	9	3.2	AA 55	1	0.4	AA 51	3	1.7	AA 9	17	3.8	AA 9	17	8.6	
AA 21	8	2.9	AA 60	1	0.4	AA 60	1	0.5	AA 6	15	3.4	AA 46	5	1.1	
AA 10	7	2.5	AA 61	1	0.4	AA 61	1	0.5	AA 15	15	3.4	AA 12	15	7.6	
AA 32	6	2.3	AA 62	1	0.4	AA 62	1	0.5	AA 11	15	3.4	AA 28	9	4.5	
AA 13	5	1.8	AA 66	1	0.4	AA 66	1	0.5	AA 12	15	3.4	AA 29	9	4.5	
AA 6	4	1.4	AA 67	1	0.4	AA 67	1	0.5	AA 8	14	3.1	AA 30	9	4.5	
AA 8	4	1.4	AA 70	1	0.4	AA 70	1	0.5	AA 14	12	2.7	AA 45	4	1.0	
AA 15	4	1.4	AA 72	1	0.4	AA 72	1	0.5	AA 50	4	1.0	AA 21	3	0.8	
AA 17	3	1.1	AA 73	1	0.4	AA 73	1	0.5	AA 21	3	0.8	AA 44	3	0.8	
AA 27	3	1.1							AA 44	3	0.8	AA 36	8	4.0	
AA 33	3	1.1							AA 53	3	0.8	AA 38	7	3.6	
AA 39	3	1.1							AA 32	2	0.4	AA 41	6	3.0	
AA 48	3	1.1							AA 48	2	0.4	AA 42	6	3.0	
AA 49	3	1.1							AA 2	2	0.4	AA 46	5	2.5	
AA 51	3	1.1							AA 18	10	2.2	AA 47	5	2.5	
AA 11	2	0.7							AA 22	10	2.2	AA 50	4	2.0	
AA 14	2	0.7							AA 7	9	2.0	AA 53	3	1.5	
AA 16	2	0.7							AA 13	9	2.0	AA 56	2	1.0	
AA 18	2	0.7							AA 25	9	2.0	AA 57	2	1.0	
AA 24	2	0.7							AA 26	9	2.0	AA 58	2	1.0	
AA 37	2	0.7							AA 28	9	2.0	AA 59	2	1.0	
AA 43	2	0.7							AA 29	9	2.0	AA 63	1	0.5	
AA 44	2	0.7							AA 30	9	2.0	AA 64	1	0.5	
AA 52	2	0.7							AA 31	9	2.0	AA 65	1	0.5	
AA 54	2	0.7							AA 24	8	1.8	AA 68	1	0.5	
AA 5	1	0.3							AA 34	8	1.8	AA 69	1	0.5	
AA 19	1	0.3							AA 36	8	1.8	AA 71	1	0.5	
AA 22	1	0.3							AA 35	7	1.6				
AA 25	1	0.3							AA 38	7	1.6				
AA 26	1	0.3							AA 27	6	1.3				
									AA 37	6	1.3				
									AA 40	6	1.3				
TOTAL			277	100.0		183	100.0		447	100.0		199	100.0	342	100.0

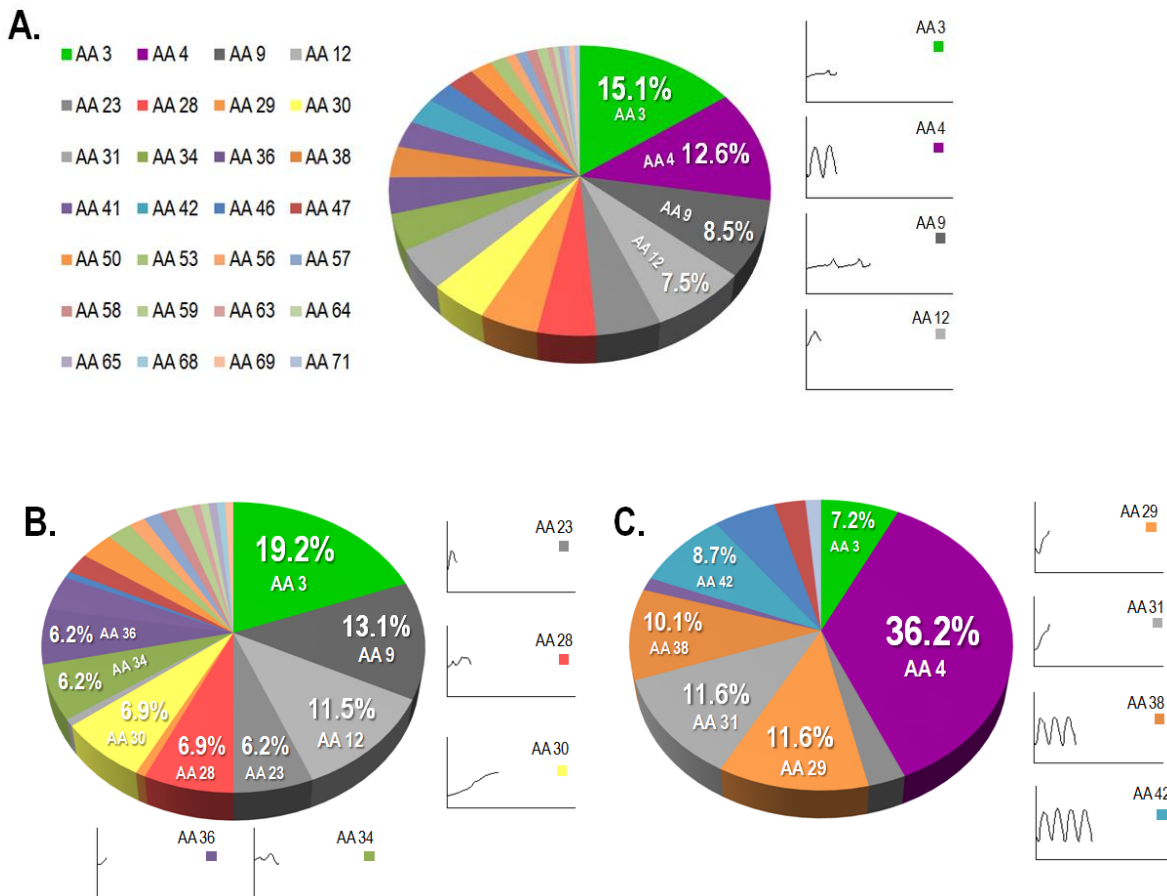


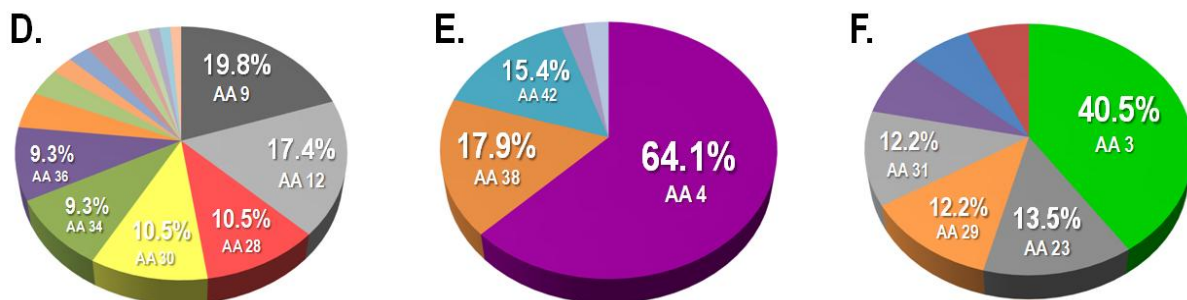
**Figura 27.** Número de silbidos emitidos de cada uno de los 33 tipos de silbidos del repertorio de los acuarios en conjunto para (A.) los dos ciclos de 24 horas (**N=342 silbidos**), para (B.) los periodos diurnos (**N=322 silbidos**) y (C.) nocturno (**N=20 silbidos**) y para (D.) los exclusivos del periodo diurno (**N=183 silbidos**) y (E.) los de ambos periodos en el **Acuario Atlantis (N=159 silbidos)**, mostrando los espectrogramas de los tipos de silbidos más ocurrentes.



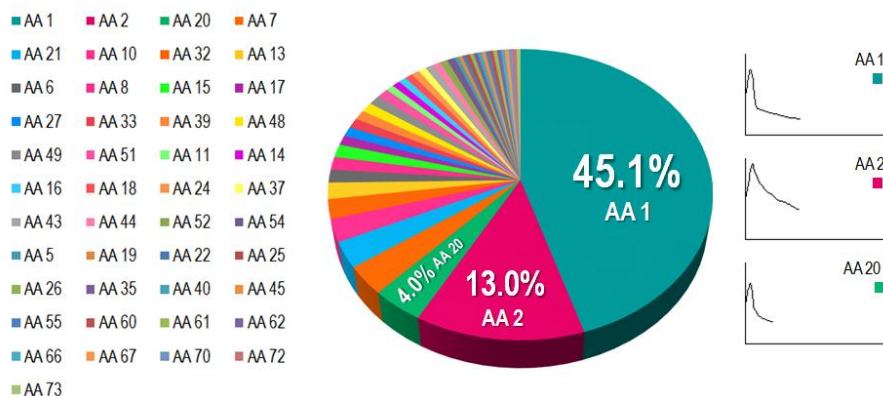


**Figura 28.** Número de silbidos emitidos de cada uno de los 12 tipos de silbidos exclusivos del repertorio de los acuarios en conjunto para el ciclo de 24 horas en el **Acuario Six Flags**, mostrando los espectrogramas de los tres tipos de silbidos más ocurrentes. **N=183 silbidos.**

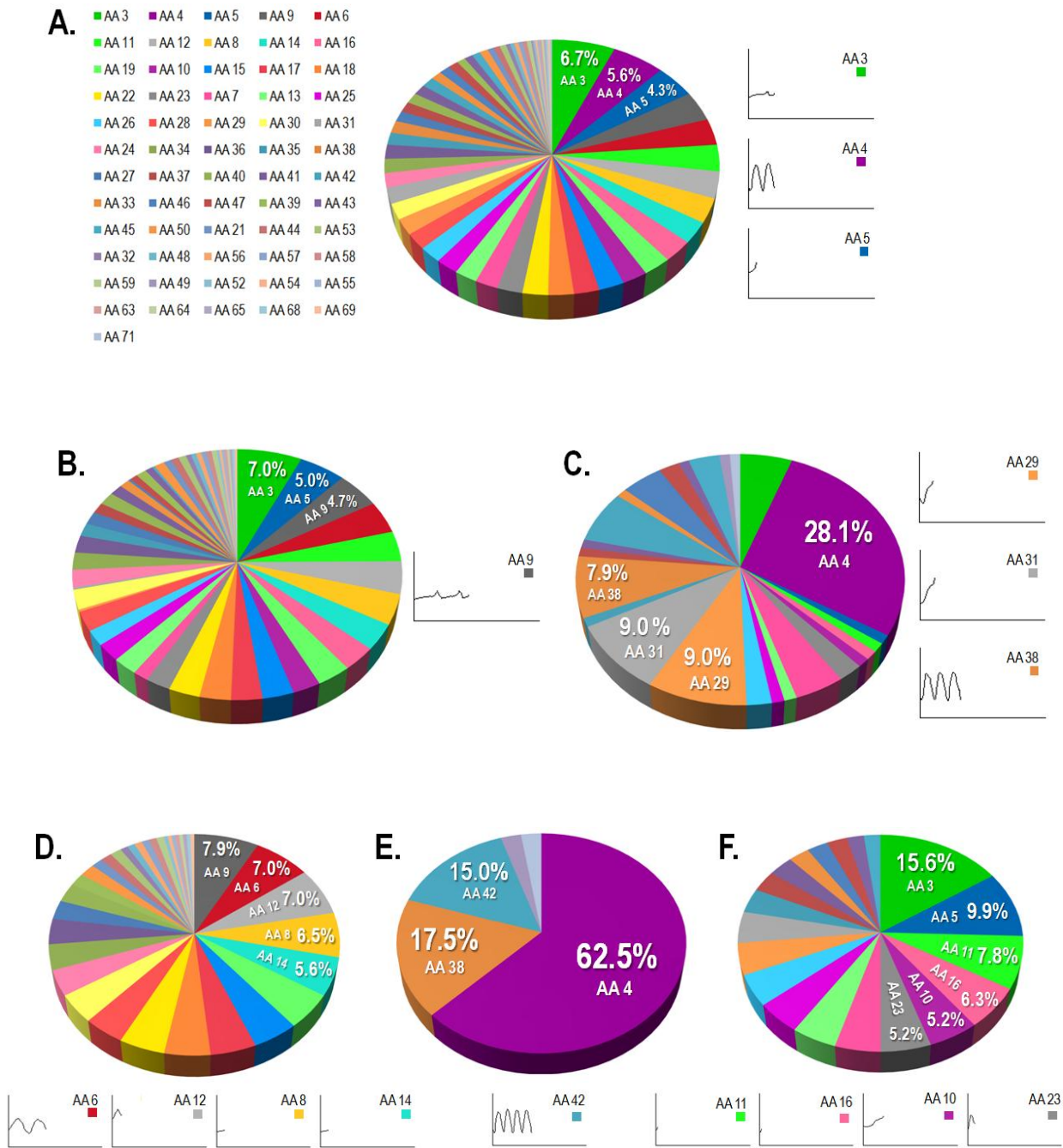




**Figura 29.** Número de silbidos emitidos de cada uno de los 28 tipos de silbidos exclusivos del repertorio de los acuarios en conjunto para el **Acuario Atlantis** durante (A.) el ciclo de 24 horas (**N=199 silbidos**), (B.) el periodo diurno (**N=130 silbidos**), (C.) el periodo nocturno (**N=69 silbidos**), (D.) exclusivamente el periodo diurno (**N=86 silbidos**), (E.) exclusivamente el periodo nocturno (**N=39 silbidos**) y (F.) ambos periodos (**N=74 silbidos**), mostrando los espectrogramas de los tipos de silbidos más ocurrentes.



**Figura 30.** Número de silbidos emitidos de cada uno de los 45 tipos de silbidos del repertorio de los acuarios en conjunto para el ciclo de 24 horas en el **Acuario Six Flags**, mostrando los espectrogramas de los tres tipos de silbidos más ocurrentes. **N=277 silbidos.**



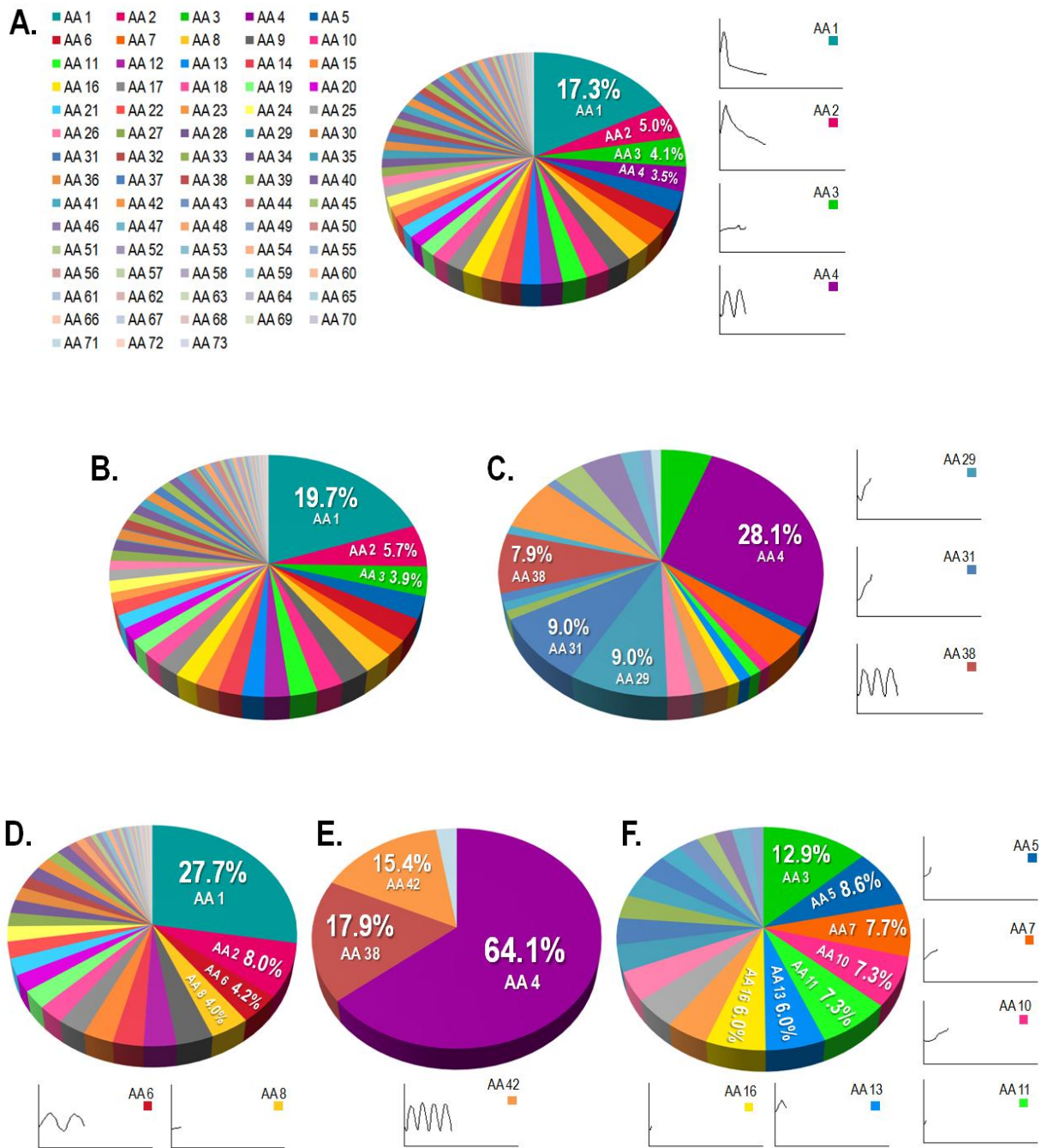
**Figura 31.** Número de silbidos emitidos de cada uno de los 61 tipos de silbidos del repertorio de los acuarios en conjunto para el **Acuario Atlantis** durante (A.) el ciclo de 24 horas (**N=447 silbidos**), los periodos (B.) diurno (**N=358 silbidos**) y (C.) nocturno (**N=89 silbidos**), (D.) exclusivamente el periodo diurno (**N=215 silbidos**), (E.) exclusivamente el periodo nocturno (**N=40 silbidos**) y (F.) ambos periodos (**N=192 silbidos**), mostrando los espectrogramas de los tipos de silbidos más ocurrentes.

#### 5.3.4. Acuarios en conjunto

El repertorio de los acuarios en conjunto estuvo constituido por **73 tipos de silbidos utilizando los 724 silbidos** de los ciclos de 24 horas en ambos acuarios, de los cuales **635 silbidos** contenidos en 69 tipos de silbidos fueron emitidos durante el **periodo diurno** y **89 silbidos** contenidos en 25 tipos de silbidos fueron emitidos durante el **periodo nocturno** (Tabla 17, 30). Al considerar los tipos de silbidos exclusivos de cada periodo y los compartidos entre ambos periodos se obtuvieron **452 silbidos** de 48 tipos de silbidos emitidos exclusivamente el periodo diurno, **39 silbidos** de 4 tipos de silbidos emitidos exclusivamente el periodo nocturno y **233 silbidos** (183d, 50n) de 21 tipos de silbidos compartidos por ambos periodos (Tabla 36).

Los **tipos de silbidos fueron utilizados** por los tursiones de ambos acuarios durante el periodo diurno más proporcionalmente que durante el periodo nocturno (Tabla 36, Figura 32). Esto se vio reflejado en una **variabilidad proporcional** del uso que le dieron los tursiones a sus silbidos más pequeña durante el periodo diurno (Tabla 17) y en una **equitabilidad** grande para el periodo diurno y pequeña para el periodo nocturno (Tabla 33) e indica que los tursiones en cautiverio estudiados utilizaron con casi igual frecuencia todos los tipos de silbidos emitidos durante el periodo diurno, mientras que durante el periodo nocturno utilizaron principalmente algunos tipos de silbidos, especialmente si se consideran los tipos de silbidos exclusivos de cada periodo. Estos resultados se reflejaron en las diferencias significativas en el uso que los tursiones de ambos acuarios hicieron de los tipos de silbidos de acuerdo a las cuatro categorías generales de complejidad fue distinto entre periodos (Tabla 23).

Finalmente, los tipos de silbidos compartidos entre periodos fueron utilizados por los tursiones de ambos acuarios de manera bastante proporcional (Tabla 36, Figura 32), lo cual se reflejó en una **variabilidad proporcional** pequeña (Tabla 17) y en una **equitabilidad** mediana (Tabla 33).



**Figura 32.** Número de silbidos emitidos de cada uno de los 73 tipos de silbidos del repertorio de los tursiones de los acuarios en conjunto durante (A.) los dos ciclos de 24 horas ( $N=724$  silbidos), (B.) los periodos diurno ( $N=635$  silbidos) y (C.) nocturno ( $N=89$  silbidos) y (D.) exclusivamente el periodo diurno ( $N=452$  silbidos), (E.) exclusivamente el periodo nocturno ( $N=39$  silbidos) y (F.) ambos periodos ( $N=233$  silbidos) , mostrando los espectrogramas de los tipos de silbidos más ocurrentes.

**Tabla 36.** Número de silbidos emitidos de cada uno de los 73 tipos de silbidos del repertorio de los tursiones de los acuarios en conjunto durante dos ciclos de 24 horas de acuerdo al periodo, mostrando el porcentaje correspondiente de los 724 silbidos.

	NOMBRE DEL TIPO DE SILBIDO	# SILBIDOS	PORCENTAJE	NOMBRE DEL TIPO DE SILBIDO	# SILBIDOS	PORCENTAJE	NOMBRE DEL TIPO DE SILBIDO	# SILBIDOS	PORCENTAJE	NOMBRE DEL TIPO DE SILBIDO	# SILBIDOS	PORCENTAJE	NOMBRE DEL TIPO DE SILBIDO	# SILBIDOS	PORCENTAJE	SUBTOTAL	
EXCLUSIVAMENTE PERIODO DIURNO	AA 1	125	17.3	AA 19	12	1.7	AA 36	8	1.1	AA 55	2	0.3	AA 65	1	0.1	48 TIPOS (65.8%) 452 SILBIDOS (62.4)	
	AA 2	36	5.0	AA 20	11	1.5	AA 39	7	1.0	AA 56	2	0.3	AA 66	1	0.1		
	AA 6	19	2.6	AA 21	11	1.5	AA 40	7	1.0	AA 57	2	0.3	AA 67	1	0.1		
	AA 8	18	2.5	AA 22	11	1.5	AA 44	5	0.9	AA 58	2	0.3	AA 68	1	0.1		
	AA 9	17	2.3	AA 24	10	1.4	AA 48	5	0.9	AA 59	2	0.3	AA 69	1	0.1		
	AA 12	15	2.1	AA 27	9	1.2	AA 50	4	0.6	AA 60	1	0.1	AA 70	1	0.1		
	AA 14	14	1.9	AA 28	9	1.2	AA 51	3	0.4	AA 61	1	0.1	AA 72	1	0.1		
	AA 15	14	1.9	AA 30	9	1.2	AA 52	3	0.4	AA 62	1	0.1	AA 73	1	0.1		
	AA 17	13	1.8	AA 32	8	1.1	AA 53	3	0.4	AA 63	1	0.1					
	AA 18	12	1.7	AA 34	8	1.1	AA 54	3	0.4	AA 64	1	0.1					
EXCLUSIVAMENTE PERIODO NOCTURNO	AA 4	25	3.5													4 TIPOS (5.4%) 39 SILBIDOS (5.4%)	
	AA 38	7	1.0														
	AA 42	6	0.8														
	AA 71	1	0.1														
DURANTE AMBOS PERIODOS (DIURNO Y NOCTURNO)	AA 3	30	4.1	AA 13	14	1.8	AA 29	9	1.2	AA 41	6	0.8	AA 49	4	0.6	21 TIPOS (28.8%) 233 SILBIDOS (32.2%)	
	AA 5	20	2.8	AA 16	14	1.8	AA 31	9	1.2	AA 43	6	0.8					
	AA 7	18	2.6	AA 23	10	1.4	AA 33	8	1.1	AA 45	5	0.8					
	AA 10	17	2.3	AA 25	10	1.4	AA 35	8	1.1	AA 46	5	0.8					
	AA 11	17	2.3	AA 26	10	1.4	AA 37	8	1.1	AA 47	5	0.8					
TOTAL															724	100.0	73 TIPOS (100.0%) 724 SILBIDOS (100.0%)

## 6. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

### 6.1. Acuario Six Flags

Los **tursiones** del **Acuario Six Flags** emitieron **silbidos** únicamente durante el **periodo diurno** y por ello se encontraron **diferencias significativas** tanto en la **tasa de emisión** como en el **número de minutos con un cierto número de silbidos** al comparar ambos periodos del ciclo de 24 horas en el **Acuario Six Flags** (Tabla 13, 15). Los tursiones silvestres silban principalmente durante el día (Shane *et al.* 1986, Bloom 1991, Bloom *et al.* 1995), aunque también lo hacen durante el **periodo nocturno**, pero con menor ocurrencia (Bloom 1991, Bloom *et al.* 1995). Otros estudios con tursiones en cautiverio encontraron que los animales silban durante el día y casi no lo hacen durante la noche (Powell 1966, G. Gnone 2010 comun. pers., O.I. Lyamin 2010 comun. pers.). Este comportamiento acústico podría deberse a que los tursiones silvestres realizan la mayor parte de sus **actividades** durante el **día** (Shane *et al.* 1986, Herzing 2000, dos Santos *et al.* 2005) y generalmente **descansan** durante la **noche** (McBride & Hebb 1948). Cuando los tursiones tanto silvestres (Bloom *et al.* 1995) como en cautiverio (Powell 1966, López Rivas 2010, G. Gnone 2010 comun. pers., O.I. Lyamin 2010 comun. pers.) descansan normalmente permanecen silenciosos.

En particular, el **98.6%** de los silbidos en el **Acuario Six Flags** fueron emitidos entre las **08:38 y las 11:20 horas** con una tasa de emisión de **1.7±2.7 silbidos/min**. Este **intervalo de gran emisión de silbidos** coincidió con la **interacción entre ambos tursiones** y con el periodo en que los **tursiones** fueron **alimentados** durante el **ciclo de 24 horas** (los **tursiones** sólo fueron **alimentados una vez** durante el **ciclo de 24 horas**). En vida libre los tursiones no son acústicamente activos durante todo el día, sino que lo son particularmente durante la **mañana** (Bloom 1991, Bloom *et al.* 1995). Son menos activos durante el traslado de un lugar a otro no muy lejano (Bloom *et al.* 1995) y la emisión de fonaciones aumenta considerablemente durante el periodo de alimentación e interacción con otros tursiones (Connor *et al.* 1998, Herzing 2000, Acevedo-Gutiérrez & Stienessen 2004, Cook *et al.* 2004, dos Santos *et al.* 2005). Específicamente para los silbidos, los estudios de Herzing (2000) y Cook *et al.* (2004) reportan que los **tursiones silvestres emiten silbidos** cuando **socializan** o cuando **interactúan entre individuos**. El de Acevedo-Gutiérrez & Stienessen (2004) afirma que las **manadas de tursiones silvestres** emiten un gran número de silbidos mientras se **alimentan**, lo cual conlleva a un **incremento** en el **número de individuos** (tursiones) que conforman la manada durante el periodo de alimentación. Los de Bloom (1991) y Bloom *et al.* (1995) reportan que los **tursiones** silvestres presentan una **mayor actividad** entre las **09:00-10:00 horas** y las **13:00-15:00 horas**, con un visible decremento a las 12:00 horas. Es decir, la emisión de **silbidos** en los tursiones silvestres se encuentra asociada a la comunicación entre individuos (Wood 1953, Connor *et al.* 1998, Herzing 2000, Jones & Sayigh 2002, dos Santos *et al.* 2005, Bazúa Durán 2010). Entonces, los tursiones en cautiverio del **Acuario Six Flags** se comportaron como los tursiones silvestres durante el periodo diurno, emitiendo silbidos cuando realizaban ciertas actividades y de acuerdo a la hora del día.

Se ha mencionado que los tursiones en cautiverio que tienen muchos años de convivir juntos (seis años para los tursiones del **Acuario Six Flags**) modifican su comportamiento acústico (Shane *et al.* 1986), pero no se encontró ningún estudio al respecto. Por ello, no fue posible hacer inferencias sobre si los **tursiones silvestres** emitan **más o menos silbidos durante 24 horas** que los tursiones en cautiverio del **Acuario Six Flags**.

López Rivas (2010) estudió a estos mismos tursiones del **Acuario Six Flags** al mismo tiempo que se realizó el ciclo de 24 horas de este estudio, pero únicamente durante partes del periodo diurno en casi un año calendario y menciona que los tursiones **silbaron** principalmente al aproximarse el **horario de alimentación**, lo cual coincide con lo encontrado en el presente estudio para el periodo diurno del ciclo de 24 horas. Además, López Rivas (2010) encontró que los **tursiones silbaron** sólo durante el **9.2% del tiempo diurno muestreado**; la emisión de silbidos fue **baja y heterogénea**, coincidiendo en proporción con el **periodo de fonación diurno** del presente estudio (de **9.3%**, 78 minutos de los 840 minutos diurnos). La **tasa de emisión de silbidos diurna** en el **Acuario Six Flags** del estudio de López Rivas (2010) (**0.3±0.4 silbidos/min**) también fue similar a la **tasa de emisión de silbidos diurna** del presente estudio (**0.3±1.4 silbidos/min**, Tabla 12), con una gran **ocurrencia de un silbido** (**34.9%** de los minutos con silbidos), **dos silbidos** (**20.1%** de los minutos con silbidos) o **tres silbidos** por minuto (**15.7%** de los minutos con silbidos) y con un máximo de **21 silbidos en un solo minuto**. En el presente estudio, la **ocurrencia de un silbido** (**26.9%** de los minutos con silbidos diurnos), **dos silbidos** (**18.0%** de los minutos con silbidos diurnos) o **tres silbidos** por minuto (**18.0%** de los minutos con silbidos diurnos) durante el periodo diurno también fue abundante, con un **máximo de 16 silbidos en un solo minuto**. Por ello, la emisión de silbidos durante partes del periodo diurno muestreadas por López Rivas (2010) fue representativa de la producción de silbidos por los tursiones del **Acuario Six Flags** durante todo el periodo diurno. Así, si se muestrea a los tursiones del **Acuario Six Flags** entre las **08:00** y las **12:00 horas** se estarán capturando la mayor parte de los silbidos que emiten a lo largo del día.

Cabe mencionar que López Rivas (2010) únicamente mostró datos sobre el intervalo de mayor emisión de silbidos para el periodo diurno del ciclo de 24 horas en el **Acuario Six Flags**. Entonces, en el presente estudio se hizo el análisis detallado de los silbidos emitidos durante el ciclo de 24 horas, revisando nuevamente las grabaciones, seleccionando nuevamente los silbidos y realizando cuantificaciones sobre la emisión de silbidos durante todo el ciclo de 24 horas en el **Acuario Six Flags**.

El **repertorio de silbidos** del **Acuario Six Flags** durante el ciclo de 24 horas o el periodo diurno estuvo constituido por **38 tipos de silbidos** con los **277 silbidos grabados** en los **1440 minutos** (con una variabilidad proporcional de 13.7%), en comparación con la clasificación realizada por López Rivas (2010) utilizando también la subrutina “**ARTwarp**”, quien **clasificó 1175 silbidos** emitidos por los mismos tursiones del **Acuario Six Flags** durante el periodo diurno en **121 tipos de silbidos** (con una variabilidad proporcional de 10.3%). Además, en el presente estudio el **90.6%** de los **silbidos** fueron únicamente de **18 tipos** y se encontró que el **23.7%** de los **tipos de**

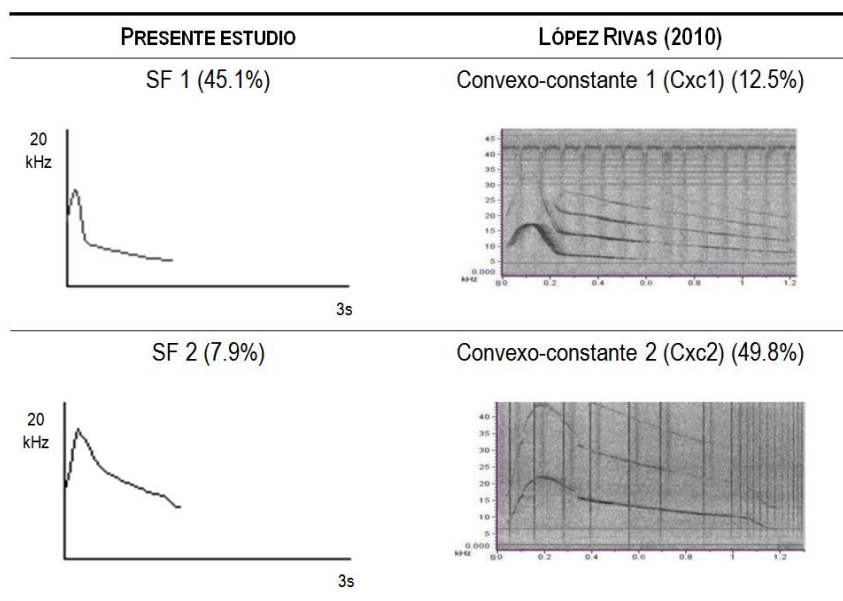


**silbidos** (9 tipos de los 38 tipos de silbidos totales) sólo se emitieron una vez. En el estudio de López Rivas (2010) el 78.1% de los silbidos fueron únicamente de 15 tipos y se encontró que el **34.4%** de los **tipos de silbidos** sólo se emitieron una vez. Esto indica que las diferencias entre ambos estudios con respecto a la variabilidad del repertorio de silbidos de los tursiones del **Acuario Six Flags** fueron pequeñas, lo que indica que el repertorio de silbidos de los tursiones del **Acuario Six Flags** fue poco variable durante el periodo diurno, lo cual sugiere que los tursiones del **Acuario Six Flags** emiten pocos tipos de silbidos de acuerdo al número total de silbidos muestreados.

En cuanto a la complejidad, el **repertorio de silbidos** del **Acuario Six Flags** estuvo constituido por casi la misma proporción **de tipos de silbidos** tanto **complejos** como **simples**. Al comparar visualmente los espectrogramas de los tipos de silbidos de este estudio con los reportados en el estudio de López Rivas (2010), únicamente se compararon los tipos de silbidos complejos debido a que no fue posible apreciar completamente los tipos de silbidos con modulación lineal simple por ser de menor duración y modulación. Se encontró que el 62.0% de los tipos de silbidos complejos de este estudio (13 tipos de los 21 tipos complejos) coincidieron con los espectrogramas reportados en el estudio de López Rivas (2010) y que 24 tipos de silbidos del estudio de López Rivas (2010) no se encontraron en el presente estudio. Además, en el presente estudio, de los 17 tipos de silbidos con modulación lineal simple, alrededor del 35% tuvieron una duración muy corta (Tabla 18), por lo que estos tipos de silbidos posiblemente no sean diferentes desde el punto de vista perceptual y puedan ser considerados como un solo tipo de silbido. Como los tipos de silbidos se encuentran influenciados por las actividades que realizan los tursiones (Shane *et al.* 1986, Connor *et al.* 1998, Herzing 2000, Acevedo-Gutiérrez & Stienessen 2004, Cook *et al.* 2004, dos Santos *et al.* 2005, López Rivas 2010), si en nuevos muestreos durante 24 horas o únicamente durante el periodo diurno se presentan diferentes actividades al nado, interacción con tursiones, interacción con objetos o reposo que las desempeñadas por los tursiones en este estudio, el repertorio de silbidos del **Acuario Six Flags** pueda ser diferente al registrado. Entonces, debido a que en este estudio únicamente se muestreó durante un ciclo de 24 horas, es probable que la complejidad del repertorio de silbidos de los tursiones del **Acuario Six Flags** sea mayor de la reportada en este estudio y también de la reportada en el estudio de López Rivas (2010).

Los **tipos de silbidos más utilizados** por los tursiones del **Acuario Six Flags** fueron el **SF 1**, el **SF 2** y el **SF 3** (Figura 25), representando entre los tres el **58.5%** del total de silbidos grabados. López Rivas (2010) reportó que los mismos tursiones del **Acuario Six Flags** emitieron principalmente dos tipos de silbidos, los tipos de silbidos convexo-constante 1 y 2 (**Cxc1** y **Cxc2**, respectivamente), que representaron entre los dos el **62.3%** del total de silbidos y que correspondían cada uno a uno de los tipos de silbidos emitidos por cada uno de los tursiones del **Acuario Six Flags** (el Cxc1 corresponde al tursión 1 y el Cxc2 al tursión 2). Estos dos tipos de silbidos reportados por López Rivas (2010) coinciden con dos de los tres tipos de silbidos más utilizados por los tursiones de Six Flags de este estudio (**53.0%** del total de silbidos grabados, Figura 33), aunque en el presente estudio el tipo de silbido SF 1, equivalente al Cxc1, fue mucho más abundante que el tipo de silbido SF 2, equivalente al Cxc2, cuando en el

estudio de López Rivas (2010) el tipo de silbido Cxc2 fue el más abundante. Esto indica que los tipos de silbidos SF 1 y SF 2 que los tursiones del **Acuario Six Flags** utilizaron con mayor frecuencia durante el ciclo de 24 horas probablemente correspondan, cada uno, a uno de los tipos de silbidos emitidos por cada uno de los tursiones del **Acuario Six Flags** y, a diferencia del estudio de López Rivas (2010), que el tursión 1 silbó más que el tursión 2. Esta diferencia de cuál tursión fue el que emitió más silbidos probablemente se deba a una diferencia en las actividades particulares que ambos tursiones realizaron durante ambos estudios y abre nuevas interrogantes sobre el uso específico que los tursiones hacen de sus silbidos.



**Figura 33.** Tipos de silbidos coincidentes más utilizados en el **Acuario Six Flags** reportados por dos estudios, el presente estudio y López Rivas (2010). El porcentaje representa la fracción de ese tipo de silbido del total de silbidos analizados en cada estudio.

## 6.2. Acuario Atlantis

Los tursiones del **Acuario Atlantis** emitieron silbidos durante ambos periodos, el **periodo diurno** y el periodo **nocturno**, pero **silbaron mucho más** durante el **periodo diurno** que durante el nocturno, por lo que se encontraron **diferencias significativas** tanto en la **tasa de emisión** como en el **número de minutos con un cierto número de silbidos** al comparar ambos periodos del ciclo de 24 horas (Tabla 13, 15). Como ya se mencionó para el **Acuario Six Flags**, este comportamiento acústico durante el periodo diurno ocurre tanto en tursiones silvestres como en

cautiverio (Shane *et al.* 1986, Bloom 1991, Bloom *et al.* 1995, G. Gnone 2010 comun. pers., O.I. Lyamin 2010 comun. pers.) y podría deberse a que los tursiones del **Acuario Atlantis** también realizan la mayor parte de sus **actividades** durante el **día** (López Rivas 2010), como los tursiones silvestres (Shane *et al.* 1986, Herzing 2000, dos Santos *et al.* 2005).

Otros estudios, como ya se mencionó, han encontrado que los tursiones en cautiverio silban durante la noche y que lo hacen en menor proporción que durante el día (Powell 1966, G. Gnone 2010 comun. pers., O.I. Lyamin 2010 comun. pers.). Se ha reportado que los **tursiones** tanto silvestres (Shane *et al.* 1986) como en cautiverio (Lyamin *et al.* 2005, Gnone *et al.* 2006, Sekiguchi *et al.* 2006) también pueden **realizar actividades** durante la **noche**, tales como el nado e interacción con otros tursiones. Por ejemplo, las **crías de tursiones** en cautiverio y sus **madres** presentan un **periodo continuo de actividad** durante el **día** y la **noche**, nadando activamente durante las **24 horas del día** en los primeros días del nacimiento de la cría (Lyamin *et al.* 2005, Gnone *et al.* 2006, Sekiguchi *et al.* 2006).

En particular, como en el **Acuario Six Flags**, el **97.1%** de los silbidos en el **Acuario Atlantis** fueron emitidos en **intervalos (cuatro)** y no de manera continua, **uno** durante el **periodo nocturno** (**5.1±5.4 silbidos/min** emitidos entre las **01:51 y las 02:05 horas**) y **tres** durante el **periodo diurno** (uno de **6.0±4.3 silbidos/min** entre las **10:59 y las 11:30 horas**, otro de **0.6±1.1 silbidos/min** entre las **12:35 y las 14:02 horas** y el tercero de **2.0±2.2 silbidos/min** entre las **06:30 y las 07:26 horas** del día siguiente). El **primer intervalo** durante el **periodo diurno**, como en el **Acuario Six Flags**, también coincidió con la **interacción entre ambos tursiones** y con el periodo en que fueron **alimentados** durante el **ciclo de 24 horas** (los **tursiones** también sólo **fueron alimentados una vez durante el ciclo de 24 horas**). El resto de los periodos coincidió únicamente con la **interacción entre ambos tursiones**. Entonces, la emisión de silbidos durante los periodos diurno y nocturno en el **Acuario Atlantis** se debieron a que durante las 24 horas del día los tursiones realizaron, entre otras, las actividades de nado, alimentación e interacción con otros tursiones que, como ya se mencionó, son en las que ocurre la mayor tasa de emisión de silbidos para los tursiones silvestres (Shane *et al.* 1986, Connor *et al.* 1998, Herzing 2000, Acevedo-Gutiérrez & Stienessen 2004, Cook *et al.* 2004, dos Santos *et al.* 2005). Así, los **tursiones en cautiverio** del **Acuario Atlantis** también se comportaron como los tursiones silvestres tanto durante el periodo diurno como durante el nocturno, emitiendo silbidos cuando realizaban ciertas actividades y de acuerdo a la hora del día.

López Rivas (2010) también estudió a estos mismos tursiones del **Acuario Atlantis** al mismo tiempo que se realizó el ciclo de 24 horas de este estudio, pero únicamente durante el periodo diurno en casi un año calendario y menciona que los tursiones **silbaron** principalmente al aproximarse el **horario de alimentación**, lo cual coincide con lo encontrado en el presente estudio para el periodo diurno del ciclo de 24 horas. Sin embargo, López Rivas (2010) encontró que los **tursiones silbaron** durante el **34.1% del tiempo diurno muestreado**; la emisión de silbidos fue intermedia y heterogénea, lo cual no coincidió con el **periodo de fonación diurno** del presente estudio (**11.2%**, 94

minutos de los 840 minutos diurnos), donde la emisión de silbidos fue **baja y heterogénea**. La **tasa de emisión de silbidos diurna** en el **Acuario Atlantis** del estudio de López Rivas (2010) ( **$1.70 \pm 2.32$  silbidos/min**) tampoco fue similar a la **tasa de emisión de silbidos diurna** del presente estudio ( **$0.4 \pm 1.6$  silbidos/min**, Tabla 12), aunque tuvo una gran **ocurrencia de un silbido** (36.6% de los minutos con silbidos), **dos silbidos** (17.6% de los minutos con silbidos) o **tres silbidos** por minuto (12.4% de los minutos con silbidos), con un máximo de **28 silbidos en un solo minuto** como se encontró en el presente estudio; la **ocurrencia de un silbido** (28.7% de los minutos con silbidos diurnos), **dos silbidos** (18.1% de los minutos con silbidos diurnos) o **tres silbidos** por minuto (9.6% de los minutos con silbidos diurnos) durante el periodo diurno del presente estudio también fue abundante, con un **máximo de 17 silbidos en un solo minuto**. Por ello, la emisión de silbidos durante partes del periodo diurno muestreadas por López Rivas (2010) fue mucho mayor a la producción de silbidos por los tursiones del **Acuario Atlantis** durante todo un periodo diurno. Esto probablemente se deba a que los tursiones en el **Acuario Atlantis** estaban silbando continuamente cuando se inició el muestreo del ciclo de 24 horas y al día siguiente silbaron temprano en la mañana, pero no antes de la hora a la que se inició el ciclo de 24 horas (que se inició a las 10:59 horas, Figura 22). Entonces, es posible que el ciclo de 24 horas realizado en el **Acuario Atlantis** no haya sido representativo de lo que los tursiones silbaron en este acuario durante un periodo diurno continuo en 24 horas. Cabe mencionar que la hora del día a la que López Rivas (2010) realizó sus muestreos en el **Acuario Atlantis** fue **posterior a las 10:00 horas, con un promedio de  $11:52 \pm 01:11$  horas**, por lo que no se hubiera esperado una diferencia entre estudios en la emisión de silbidos durante el periodo diurno. Sin embargo, es posible que si se muestrea a los tursiones del **Acuario Atlantis** desde que amanece, alrededor de las **06:30 horas**, hasta las **14:00 horas** se estarán capturando la mayor parte de los silbidos que emiten a lo largo del día.

Como para el **Acuario Six Flags**, cabe mencionar que López Rivas (2010) únicamente mostró datos sobre los intervalos de mayor emisión de silbidos para el periodo diurno del ciclo de 24 horas en el **Acuario Atlantis**. Entonces, en el presente estudio, como para el **Acuario Six Flags**, se hizo el análisis detallado de los silbidos emitidos durante el ciclo de 24 horas, revisando nuevamente las grabaciones, seleccionando nuevamente los silbidos y realizando cuantificaciones sobre la emisión de silbidos durante todo el ciclo de 24 horas en el **Acuario Atlantis**.

El **repertorio de silbidos** del **Acuario Atlantis** durante el ciclo de 24 horas estuvo constituido por **50 tipos de silbidos** con los **447 silbidos grabados** en los **1440 minutos** (con una variabilidad proporcional de 11.2%). Esto indica que el repertorio de silbidos de los tursiones del **Acuario Atlantis** fue poco variable durante el ciclo de 24 horas, lo cual sugiere que los tursiones del **Acuario Atlantis** emiten pocos tipos de silbidos de acuerdo al número total de silbidos muestreado. Para el periodo diurno, el repertorio de silbidos estuvo constituido por 45 tipos de silbidos (con una variabilidad proporcional de 11.1%), en comparación con la clasificación realizada por López Rivas (2010), quien **clasificó manualmente en 116 tipos de silbidos los 3837 silbidos** emitidos por los mismos

tursiones del **Acuario Atlantis** durante el periodo diurno (con una variabilidad proporcional de 3.0%), lo cual indica que durante el periodo diurno de este estudio se emitieron más tipos de silbidos proporcionalmente que durante el estudio de López Rivas (2010), probablemente porque en el estudio de López Rivas (2010) la clasificación de silbidos para el **Acuario Atlantis** se realizó de manera manual y no utilizando la subrutina “**ARTwarp**” como en este estudio. Sin embargo, estos resultados indican que, a pesar de las diferencias entre estudios, el repertorio de silbidos de los tursiones del **Acuario Atlantis**, como el de los tursiones del **Acuario Six Flags**, fue poco variable durante el periodo diurno, lo cual sugiere que los tursiones del **Acuario Atlantis** también emiten pocos tipos de silbidos de acuerdo al número total de silbidos muestreados.

Los tursiones del **Acuario Atlantis** en este estudio emitieron un **mayor número de tipos de silbidos** durante el **periodo diurno** (45 tipos de silbidos) en comparación con el periodo nocturno (22 tipos de silbidos), aunque el repertorio de silbidos de los tursiones del **Acuario Atlantis** durante el **periodo nocturno** fue proporcionalmente **más variable** que el del periodo diurno. Esto probablemente se deba a que, como ya se mencionó, los tursiones tienden a encontrarse activos y a emitir más silbidos durante el día que durante la noche (Shane *et al.* 1986, Bloom 1991, Bloom *et al.* 1995, G. Gnone 2010 comun. pers., O.I. Lyamin 2010 comun. pers.). Esta diferencia en el número de tipos de silbidos emitidos para cada periodo fue más notoria al analizar los tipos de silbidos exclusivos del día (28 tipos de silbidos, 56.0% del total de los tipos de silbidos) y de la noche (5 tipos de silbidos, 10.0% del total de los tipos de silbidos), ya que un gran número de tipos de silbidos se compartieron entre ambos periodos (17 tipos de silbidos, 34.0% del total de los tipos de silbidos). Sin embargo, al considerar el número de **tipos de silbidos exclusivos** de cada **periodo**, la **variabilidad proporcional** del repertorio de silbidos se invirtió. Los tipos de silbidos exclusivos del periodo nocturno fueron proporcionalmente menos variables que los exclusivos del periodo diurno, lo cual sugiere que la variabilidad proporcional del repertorio de silbidos podría ser influenciada por el número de tipos de silbidos compartidos entre ambos periodos.

En cuanto a la complejidad, el **repertorio de silbidos** del **Acuario Atlantis** estuvo constituido por casi la misma proporción de **tipos de silbidos complejos y simples** tanto durante el ciclo de 24 horas como durante cada periodo, al igual que para el **Acuario Six Flags**. Sin embargo, al considerar únicamente los **tipos de silbidos exclusivos** de cada **periodo**, la **complejidad** del repertorio de silbidos fue distinta entre periodos (Tabla 23); los tipos de silbidos **exclusivos** del **periodo nocturno más complejos** que los **exclusivos** del **periodo diurno** (Tabla 17). Esto se debió a que los tipos de silbidos emitidos en ambos periodos fueron en su mayoría tipos de silbidos con modulación simple y de poca modulación (Tabla 22), con un bajo valor de complejidad, y a que la emisión de silbidos de modulación compleja fue en su mayoría durante la noche. López Rivas (2010) menciona que los silbidos de tipo múltiple (análogos a los silbidos de modulación compleja del presente estudio) fueron utilizados en mayor medida durante conductas de juego, cuando los tursiones interactúan con objetos, lo cual podría sugerir que los tursiones llevaron a cabo estos comportamientos durante la noche.

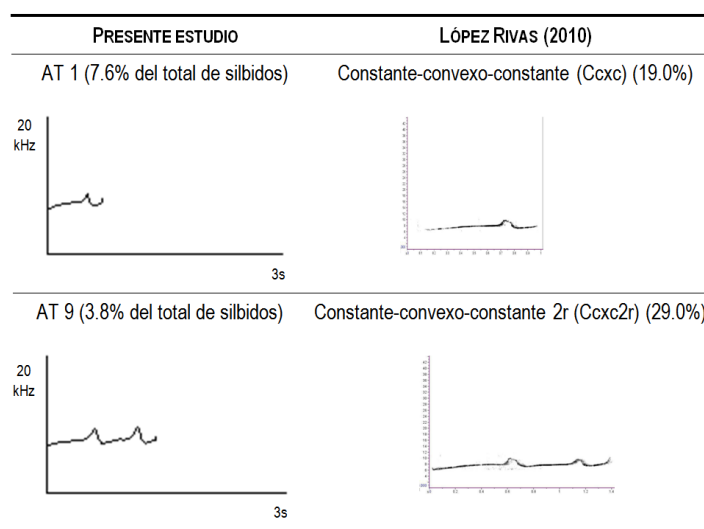
Al comparar visualmente los espectrogramas de los tipos de silbidos de este estudio durante todo el ciclo de 24 horas con los reportados en el estudio de López Rivas (2010) únicamente para el periodo diurno, al igual que para el **Acuario Six Flags**, sólo se compararon los tipos de silbidos complejos debido a que no fue posible apreciar completamente los tipos de silbidos con modulación lineal simple por ser de menor duración y modulación. Se encontró que el 68.0% de los tipos de silbidos complejos de este estudio (17 tipos de los 25 tipos complejos) coincidieron con los espectrogramas reportados en el estudio de López Rivas (2010) y que 29 tipos de silbidos del estudio de López Rivas (2010) no se encontraron en el presente estudio. Además, como para el **Acuario Six Flags**, en el presente estudio, de los 24 tipos de silbidos con modulación lineal simple, alrededor del 37% presentaron una duración muy corta (Tabla 21), lo cual probablemente no represente una gran diferencia desde el punto de vista perceptual y puedan ser considerados como un solo tipo de silbido. Como para el **Acuario Six Flags**, como los tipos de silbidos se encuentran influenciados por las actividades que realizan los tursiones (Shane *et al.* 1986, Connor *et al.* 1998, Herzing 2000, Acevedo-Gutiérrez & Stienessen 2004, Cook *et al.* 2004, dos Santos *et al.* 2005, López Rivas 2010), si en nuevos muestreos durante 24 horas se presentan diferentes actividades al nado, interacción con tursiones, interacción con objetos o reposo que las desempeñadas por los tursiones en este estudio, el repertorio de silbidos del **Acuario Atlantis** pueda ser diferente al registrado. Entonces, como para el **Acuario Six Flags**, debido a que en este estudio únicamente se muestreó durante un ciclo de 24 horas, es probable que la complejidad del repertorio de silbidos de los tursiones del **Acuario Atlantis** sea mayor de la reportada en este estudio y también de la reportada en el estudio de López Rivas (2010).

Los **tipos de silbidos más utilizados** por los tursiones del **Acuario Atlantis** fueron el **AT 1**, el **AT 2**, el **AT 3**, el **AT 4**, el **AT 5**, el **AT 6** y el **AT 7**, representando entre los siete el 40.0% del total de silbidos grabados. Esto indica que los tursiones del **Acuario Atlantis** utilizaron con casi igual frecuencia durante el ciclo de 24 horas la mayoría de los tipos de silbidos de su repertorio. López Rivas (2010) reportó que los mismos tursiones del **Acuario Atlantis** emitieron principalmente dos tipos de silbidos, los tipos de silbidos constante-convexo-constante 2r y constante-convexo-constante (Ccxc2r y Ccxc, respectivamente), que representaron entre los dos el 48.0% del total de silbidos. Estos dos tipos de silbidos reportados por López Rivas (2010) coinciden con dos tipos de silbidos emitidos por los tursiones de Atlantis de este estudio (Figura 34), pero solamente uno de ellos fue de los más utilizados en este estudio.

### 6.3. Comparación entre acuarios

**No se encontraron diferencias significativas** ni en el **número de silbidos en cada minuto** ni en el **número de minutos que contenían un cierto número de silbidos** durante el **periodo diurno** entre ambos acuarios (Tabla 13,

15). Esto probablemente se deba a que el **número total de silbidos emitidos en ambos acuarios** durante el **periodo diurno** fue **semejante** (Tabla 12), a pesar de que los tursiones en el **Acuario Atlantis** silbaron un poco más (una **tasa de emisión** y un **periodo de fonación** ligeramente mayor) y durante un intervalo de tiempo ligeramente mayor que en el **Acuario Six Flags** (2.95 horas en **tres intervalos** en el **Acuario Atlantis** vs. 2.72 horas en **un solo intervalo** en el **Acuario Six Flags**). López Rivas (2010) también mencionó que para los mismos tursiones en los **Acuarios Six Flags** y el **Acuario Atlantis** durante casi un año la **tasa de emisión de silbidos** en partes del **periodo diurno** fue **diferente**, siendo **mayor** para los tursiones del **Acuario Atlantis**, pero no realizó una prueba estadística para confirmarlo. Entonces, no siempre lo que uno aprecia es estadísticamente distinto.



**Figura 34.** Tipos de silbidos coincidentes reportados por dos estudios para el **Acuario Atlantis**, el presente estudio y López Rivas (2010). El porcentaje representa la fracción de ese tipo de silbido del total de silbidos analizados en cada estudio.

La diferencia entre ambos acuarios fue que los **tursiones del Acuario Atlantis emitieron silbidos** durante el **periodo nocturno** y los del **Acuario Six Flags** no (Tabla 13, 15). Esta diferencia en la emisión de silbidos de los tursiones pudo deberse a varios factores:

1. **Ubicación geográfica de los acuarios:** los tursiones en ambientes ruidosos silban más que aquellos en acuarios con menor impacto antropogénico para evitar el enmascaramiento de sus fonaciones y garantizar que el mensaje sea transmitido al resto de sus congéneres (Buckstaff 2004). El **Acuario Six Flags** se encuentra en un lugar hasta cierto punto aislado. A pesar de estar dentro de un parque de diversiones, se encuentra rodeado principalmente por bosque (Figura 35), lo cual podría aislar el

ruido antropogénico. El **Acuario Atlantis**, aunque también se encuentra dentro de un parque de diversiones y rodeado en parte por bosque, se encuentra muy cerca de una avenida con una importante afluencia de automóviles (Figura 36), lo cual genera mayor ruido antropogénico. Este ruido antropogénico ocurre también durante la noche, por lo que los tursiones del **Acuario Atlantis** pudieron “despertarse” durante la noche por el ruido escuchado.



Figura 35. Vista aérea del Acuario Six Flags y sus alrededores.

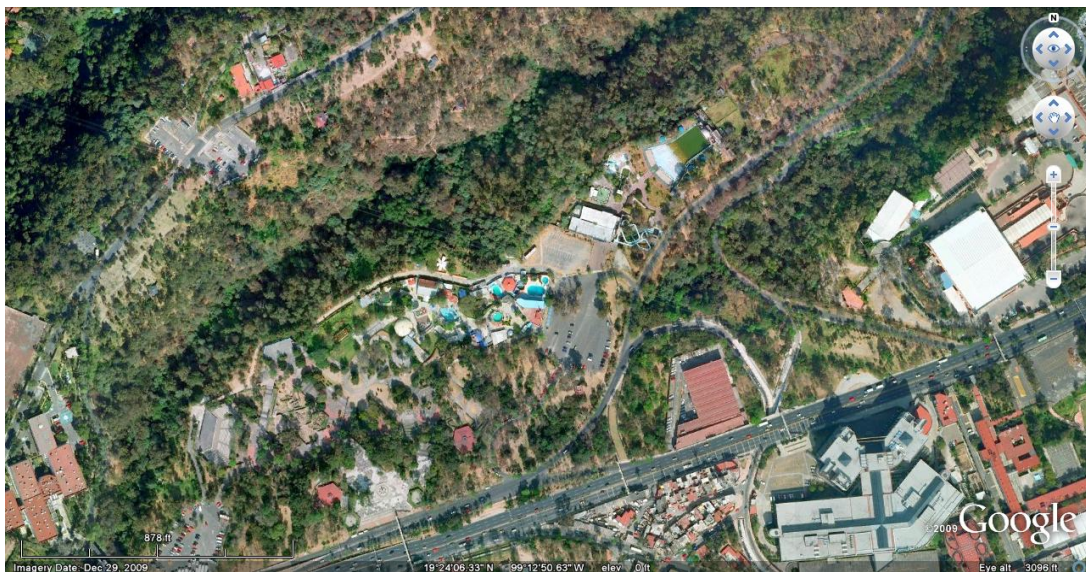


Figura 36. Vista aérea del Acuario Atlantis y sus alrededores.



2. **Edad:** los tursiones juveniles emiten más silbidos que los tursiones adultos (Wood 1953), además de que probablemente los tursiones adultos descansan más durante la noche que los tursiones juveniles. Los tursiones del **Acuario Six Flags** eran dos tursiones adultos, un macho de 13 años y una hembra de 16 años, mientras que los tursiones del **Acuario Atlantis** eran una hembra adulta de 15 años y una hembra juvenil de siete años (Figura 14).
3. **Proveniencia geográfica:** los tursiones de cierta región geográfica silban más horas durante el día que los de otras regiones (e.g., la costa de Florida vs. el canal marítimo de Wilmington, NC vs. la costa de Wilmington, NC vs. la costa de Carolina del Norte vs. la bahía de Sarasota, todos en EE.UU, Jones & Sayigh 2002). Los tursiones del **Acuario Six Flags** fueron capturados en el Océano Pacífico, mientras que los tursiones del **Acuario Atlantis** provenían del Golfo de México.
4. **Tiempo en cautiverio:** los tursiones con mayor tiempo en cautiverio silban menos que los con menor tiempo (Smolker & Pepper 1999) y, por ende, probablemente descansan más porque dejan de realizar las actividades que hacían en vida libre (Shane *et al.* 1986). Los tursiones en el **Acuario Six Flags** llevaban más de seis años en cautiverio cuando se realizó este estudio, mientras que para los tursiones en el **Acuario Atlantis** se desconoce cuanto tiempo llevaban en cautiverio.
5. **Tiempo de convivencia:** los tursiones con mayor tiempo de convivencia en cautiverio silban menos que los con menor tiempo de convivencia (Smolker & Pepper 1999) porque probablemente dejan de interactuar entre ellos y descansan más. Los tursiones el **Acuario Six Flags** llevaban más de seis años conviviendo juntos, mientras que los tursiones el **Acuario Atlantis** llevaban sólo un año de convivir.

Por ello, al estudiar los silbidos de los **tursiones en cautiverio** se deben tener en consideración los factores que podrían **afectar** su **comportamiento acústico**, tomando en cuenta la **ubicación geográfica de los acuarios para determinar** si están expuestos en gran o menor medida al ruido antropogénico, la **edad** de los tursiones, el lugar en el que fueron capturados (**proveniencia geográfica**), el **tiempo** que llevan en **cautiverio** y el **tiempo** que llevan de **convivencia** conjunta.

Cabe mencionar que cuando se realizó la comparación estadística del **número de silbidos en cada minuto** y del **número de minutos que contenían un cierto número de silbidos** entre acuarios considerando todo el ciclo de 24 horas, el **número de silbidos en cada minuto** resultó diferente, mientras que el **número de minutos que contenían un cierto número de silbidos no fue diferente** (Tabla 13, 15). Esto probablemente se deba a que un incremento en la emisión de silbidos se refleja proporcionalmente en el número de silbidos en cada minuto, más no en el número de minutos que contenían un cierto número de silbidos. Es decir, si se tiene un minuto con 17 silbidos, en la base de datos del **número de silbidos en cada minuto** se aumentan **17 silbidos**, mientras que en la base de datos del **número de minutos que contenían un cierto número de silbidos** se aumenta únicamente **un minuto**. Entonces, **no se recomienda** utilizar el **número de minutos que contenían un cierto número de silbidos** para

describir **que tanto silban** los **tursiones** y se debe utilizar únicamente el **número de silbidos en cada minuto** (o **tasa de emisión de silbidos**) para **describir** la **ocurrencia de silbidos en tursiones**.

Cuando se comparó la emisión de silbidos durante el periodo diurno reportada por el estudio de López Rivas (2010), ésta coincidió para el **Acuario Six Flags**, más no para el **Acuario Atlantis**. Esto probablemente se deba, como ya se mencionó, a que los tursiones del **Acuario Atlantis** se encontraban silbando cuando comenzó el muestreo del ciclo de 24 horas a las 10:59 horas, mientras que en el **Acuario Six Flags** estaban silenciosos a las 07:28 horas que inició el muestreo. Entonces, se recomienda que cuando se realicen estudios de ciclos de 24 horas siempre se comience el muestreo cercano al amanecer o al anochecer para, así, obtener periodos diurnos y nocturnos prácticamente continuos y evitar un posible sesgo de los datos.

En cuanto al repertorio de silbidos, se encontró que los tursiones del **Acuario Atlantis** tuvieron un repertorio durante el ciclo de 24 horas y durante el periodo diurno más grande que los del **Acuario Six Flags** (Tabla 17), es decir, el repertorio de silbidos de los tursiones del **Acuario Atlantis** fue más variable y fue mucho más variable considerando únicamente los tipos de silbidos exclusivos (los tipos de silbidos exclusivos del **Acuario Atlantis** fueron casi el doble de los tipos de silbidos emitidos por los tursiones del **Acuario Six Flags**); aunque la **variabilidad proporcional** de ambos repertorios de silbidos emitidos durante el **ciclo de 24 horas** y durante el periodo diurno fue pequeña, es decir, los tursiones emitieron pocos tipos de silbidos de acuerdo al número total de silbidos muestreados. Únicamente al analizar el **repertorio exclusivo de silbidos** de los tursiones de cada uno de los **acuarios** se encontró que para el **Acuario Atlantis** fue proporcionalmente más variable que para el **Acuario Six Flags**, tanto para el ciclo de 24 horas como para el periodo diurno (Tabla 17), es decir, los tursiones del **Acuario Six Flags** emitieron muchos menos tipos de silbidos exclusivos de acuerdo al número total de silbidos muestreados. Esto probablemente se debió a que la mayoría de los tipos de silbidos emitidos en el **Acuario Six Flags** (73.3%) estuvieron compartidos con los tipos de silbidos emitidos en el **Acuario Atlantis** y únicamente la cuarta parte de los tipos de silbidos de los tursiones del **Acuario Six Flags** fueron exclusivos (26.7%), mientras que alrededor de la mitad de los tipos de silbidos emitidos en el **Acuario Atlantis** (54.1%) estuvieron compartidos con los tipos de silbidos del **Acuario Six Flags** y la otra mitad fueron exclusivos (45.9%).

Así, los tursiones de ambos acuarios compartieron más de la mitad de los tipos de silbidos de su repertorio y como provenían de dos océanos distintos y nunca han estado en contacto, se sugiere que el repertorio de silbidos de los tursiones es en su mayoría universal para la especie, compartiendo 5.5% de tipos de silbidos complejos de gran modulación (4 tipos de los 73 tipos de silbidos en total), 12.3% de tipos de silbidos complejos de poca modulación (9 tipos de los 73 tipos de silbidos en total), 2.7% de tipos de silbidos simples de modulación lineal larga (2 tipos de los 73 tipos de silbidos en total) y 24.7% de tipos de silbidos simples de modulación lineal corta (18 tipos de los 73 tipos de silbidos en total).

La **complejidad** del repertorio de silbidos para ambos acuarios durante el **ciclo de 24 horas y durante el periodo diurno**, incluyendo el repertorio exclusivo de cada uno de los **acuarios**, fue **semejante** (Tabla 17), ya que el repertorio estuvo constituido por aproximadamente la mitad de **tipos de silbidos complejos** y la mitad de **tipos de silbidos simples** (Tabla 20, 22), aunque en el **Acuario Atlantis** sí se presentaron todas las categorías generales de tipos de silbidos y en el **Acuario Six Flags** no. Sin embargo, el **repertorio de silbidos** compartido entre ambos acuarios estuvo constituido por un mayor número de **tipos de silbidos simples**, por lo que la complejidad del repertorio compartido fue menor que la del repertorio exclusivo de ambos acuarios. Cabe mencionar que los tipos de silbidos que los tursiones del **Acuario Atlantis** compartieron con los del **Acuario Six Flags** los emitieron tanto durante el día como durante la noche, por lo que los silbidos compartidos no fueron exclusivamente diurnos.

Al comparar los repertorios de silbidos de ambos acuarios con aquellos reportados por el estudio de López Rivas (2010) para los mismos tursiones, se encontraron coincidencias para los tipos de silbidos complejos (no se compararon los tipos de silbidos con modulación lineal simple, como se explicó), pero también se encontraron tipos de silbidos exclusivos para cada estudio. Además, en el presente estudio para ambos acuarios una gran proporción de tipos de silbidos con modulación lineal simple tuvieron una duración muy corta (Tabla 18, 21), por lo que estos tipos de silbidos posiblemente no sean diferentes desde el punto de vista perceptual y puedan ser considerados como un solo tipo de silbido. Entonces, debido a que en este estudio únicamente se muestreó durante un ciclo de 24 horas, es probable que la complejidad del repertorio de silbidos de los tursiones de ambos acuarios sea mayor de la reportada tanto en este estudio como en el estudio de López Rivas (2010).

Finalmente, cabe mencionar que en el **Acuario Six Flags** los tipos de silbidos más utilizados por los tursiones fueron menos variables pero más complejos que los más utilizados en el **Acuario Atlantis** (tres vs. siete tipos de silbidos, respectivamente, con una complejidad de 0.75 y 0.54, respectivamente, que constituyeron el 58.5% y el 40.0% de los silbidos, respectivamente), sugiriendo que los tursiones adultos que llevan más tiempo de convivir usan más frecuentemente menos tipos de silbidos de su repertorio y que los tipos de silbidos más utilizados son de mayor complejidad.

#### **6.4. Acuarios en conjunto**

Los **tursiones de los Acuarios Six Flags y Atlantis**, es decir todos **tursiones en cautiverio muestreados** durante el **presente estudio**, se encontraron **acústicamente activos** principalmente durante el **periodo diurno**, como también se ha descrito para los tursiones **silvestres** (Shane *et al.* 1986, Bloom 1991, Bloom *et al.* 1995) y en cautiverio (G. Gnone 2010 comun. pers., O.I. Lyamin 2010 comun. pers.), por lo que se encontraron **diferencias**

**significativas** tanto en la **tasa de emisión** como en el **número de minutos con un cierto número de silbidos** al comparar los **periodos diurno y nocturno de los acuarios en conjunto** (Tabla 13, 15).

Como ya se mencionó para los Acuarios Six Flags y Atlantis, este **comportamiento acústico** durante el **periodo diurno** podría deberse a que los **tursiones en cautiverio** realizan la mayor parte de sus **actividades** durante el **día** (López Rivas 2010) y son actividades en las que ocurre la mayor tasa de emisión de silbidos durante el periodo diurno para los tursiones silvestres (Shane *et al.* 1986, Herzing 2000, dos Santos *et al.* 2005). El que **silben** durante la **noche**, aunque en menor proporción (Powell 1966, G. Gnone 2010 comun. pers., O.I. Lyamin 2010 comun. pers.), probablemente se deba a que los tursiones también pueden **realizar actividades** durante la **noche** (Lyamin *et al.* 2005, Gnone *et al.* 2006, Sekiguchi *et al.* 2006), tales como el nado e interacción con otros tursiones, como ya se mencionó.

En general, los **tursiones en cautiverio** estudiados emitieron sus **silbidos en intervalos** y no de manera continua, como lo mencionan Bloom (1991) y Bloom *et al.* (1995) para los tursiones **silvestres**. Esto podría deberse a que existen diversas **actividades**, tales como la **alimentación e interacción con otros tursiones** que, como ya se mencionó, involucran una **tasa de fonación o de emisión de silbidos mayor** (Connor *et al.* 1998, Herzing 2000, Acevedo-Gutiérrez & Stienessen 2004, Cook *et al.* 2004, dos Santos *et al.* 2005), en contraste con otras actividades, tales como el descanso y el nado, durante las cuales los tursiones casi no silban (Bloom *et al.* 1995, López Rivas 2010, G. Gnone 2010 comun. pers., O.I. Lyamin 2010 comun. pers.). Así, los **tursiones en cautiverio** se comportaron como los tursiones silvestres tanto durante el periodo diurno como durante el nocturno, emitiendo silbidos cuando realizaban ciertas actividades y de acuerdo a la hora del día.

Estos resultados sugieren que los **tursiones en cautiverio no silban si no necesitan comunicarse** con otros individuos o no están interactuando con los humanos, lo cual apoya la hipótesis de que los tursiones utilizan los silbidos para la comunicación entre individuos (Wood 1953, Connor *et al.* 1998, Herzing 2000, Jones & Sayigh 2002, dos Santos *et al.* 2005, Bazúa Durán 2010).

El **repertorio de silbidos de los acuarios en conjunto** estuvo constituido por **73 tipos de silbidos** con los **724 silbidos grabados** en los **2880 minutos** de los cuales **69 tipos de silbidos** fueron emitidos durante el **periodo diurno** y **25 tipos de silbidos** durante el **periodo nocturno**. Considerando únicamente los tipos de silbidos exclusivos de cada periodo, se obtuvieron **48 tipos de silbidos** emitidos **exclusivamente** durante el **periodo diurno**, **4 tipos de silbidos** emitidos **exclusivamente** durante el **periodo nocturno** y **21 tipos de silbidos** emitidos **exclusivamente** durante **ambos periodos**. Esto sugiere que los tursiones en cautiverio estudiados emiten más tipos de silbidos durante el día que durante la noche y que los tipos de silbidos no son exclusivos de un periodo del día.

La **variabilidad proporcional** del repertorio de silbidos en los acuarios en conjunto durante el **periodo nocturno** (28.1%, Tabla 17) fue mucho mayor que para el ciclo de 24 horas (10.1%) y que para el periodo diurno (10.9%). Esto probablemente se deba a que los tursiones en cautiverio emiten más silbidos de cada tipo durante la noche que durante el día. Pero los tipos de silbidos exclusivos de cada periodo los emiten de manera similar exclusivamente para el periodo diurno (10.6%) y exclusivamente para el periodo nocturno (10.3%).

El **repertorio de silbidos** de los acuarios en conjunto estuvo constituido por un número semejante de **tipos de silbidos complejos** y **simples** que fueron utilizados de manera bastante proporcional (Figura 32), presentándose también tipos de silbidos simples con una duración muy corta (36.0% de los tipos de silbidos simples) (Tabla 31), los cuales probablemente no son diferentes desde el punto de vista perceptual. Pero la complejidad de los tipos de silbidos emitidos exclusivamente durante el periodo nocturno fue mayor que para los tipos de silbidos emitidos exclusivamente durante el periodo diurno (Tabla 17), aunado a que los tipos de silbidos exclusivos del periodo nocturno fueron usados más frecuentemente que durante el periodo diurno (Tabla 23, 36, Figura 32), sugiriendo que los tursiones en cautiverio estudiados emiten tipos de silbidos más complejos durante sólo la noche que durante sólo el día.

### 6.5. Operación de la subrutina “ARTwarp”

La subrutina “**ARTwarp**” analiza los silbidos y los agrupa en ciertas “neuronas” o tipos de silbidos. En el presente estudio la subrutina “**ARTwarp**” fue capaz de clasificar todos los silbidos de cada acuario en una sola operación (277 silbidos del **Acuario Six Flags** y 447 silbidos del **Acuario Atlantis**), mientras que la obtención del repertorio de silbidos para los acuarios en conjunto (con 724 silbidos) no se pudo realizar utilizando el total de silbidos porque después de 100 iteraciones la subrutina “**ARTwarp**” se detuvo, creando únicamente 56 “neuronas” y quedando un remanente de contornos de silbidos reclasificados. Por lo tanto, se separaron los silbidos en dos bloques, considerando aquellos que tuvieran contornos visualmente semejantes (categorías de silbidos con modulación compleja y modulación simple).

Se esperaba que el repertorio de silbidos de los acuarios en conjunto fuera la suma de los repertorios del **Acuario Six Flags** y del **Acuario Atlantis** cuando se analizaron por separado. Sin embargo, para el **Acuario Six Flags** se obtuvieron 45 tipos de silbidos cuando se clasificaron los silbidos en conjunto con los del **Acuario Atlantis** en comparación con los 38 tipos que se obtuvieron cuando se clasificaron únicamente los silbidos del **Acuario Six Flags**. Y lo mismo ocurrió con los silbidos del **Acuario Atlantis**; se obtuvieron 61 tipos de silbidos en comparación con los 50 tipos de cuando se clasificaron únicamente los silbidos del **Acuario Atlantis**. Esto pudo haberse debido a

que la subrutina “**ARTwarp**” clasifica con mayor facilidad los silbidos que son muy distintos, como es el caso de los silbidos con modulación compleja (como sucedió con la clasificación del primer bloque de silbidos del presente estudio: **30 tipos de silbidos con 11 iteraciones**) y se tarda considerablemente más al clasificar los silbidos muy similares, como es el caso de los silbidos con modulación lineal (como sucedió con la clasificación del segundo bloque de silbidos del presente estudio: **43 tipos de silbidos con 69 iteraciones**). Entonces, se recomienda que al clasificar los silbidos, la clasificación se lleve a cabo en dos bloques: los de modulación compleja y los de modulación simple, aunque la subrutina “**ARTwarp**” pueda clasificar a todos los silbidos en categorías en una sola comparación.

Finalmente, cabe mencionar que la subrutina “**ARTwarp**” clasificó silbidos en varios tipos de silbidos simples con modulación lineal muy corta que, al tener una duración tan pequeña, probablemente no sean distintos desde el punto de vista perceptual y probablemente podrían ser considerados como un solo tipo de silbido aunque su intervalo de frecuencias sea distinto. Por ejemplo, López Rivas (2010) clasificó los silbidos con duración muy corta como un solo tipo de silbido, el tipo de silbido “punto”. Por ello, es necesario realizar estudios de percepción en tursiones utilizando estos tipos de silbidos para evaluar el desempeño de la subrutina “**ARTwarp**” cuando los silbidos son muy cortos y determinar si deben ser considerados como distintos tipos de silbidos.

## 7. CONCLUSIONES

El presente estudio es el primero, del que se tiene conocimiento, en reportar y describir a detalle la emisión de silbidos durante la noche en los tursiones en cautiverio. Los tursiones en cautiverio estudiados se encontraron acústicamente activos principalmente durante la mañana del periodo diurno, aunque también emitieron silbidos en menor medida durante el periodo nocturno. Como los tursiones en cautiverio estudiados silbaron más por la mañana, se sugiere que si se muestrea a los tursiones en cautiverio entre las 06:00 y las 14:00 horas, se estarán capturando la mayor parte de los silbidos que emiten a lo largo del día.

Los tursiones del **Acuario Atlantis** estuvieron activos durante el día y la noche, nadando e interactuando entre sí (las dos actividades en las cuales la tasa de fonación es alta, López Rivas 2010), mientras que en el **Acuario Six Flags** ambos tursiones estuvieron activos solamente durante el día (cuando los tursiones descansan no emiten silbidos, López Rivas 2010) y descansaron la mayor parte del tiempo. La emisión de silbidos de los tursiones en cautiverio de ambos acuarios, por ende, parece estar relacionada con la actividad de los tursiones (G. Gnone 2010 comun. pers., O.I. Lyamin 2010 comun. pers.), pero también con el ruido en sus acuarios (en ambientes ruidosos

silban más que aquellos en acuarios con menor impacto antropogénico para evitar el enmascaramiento de sus fonaciones y garantizar que el mensaje sea transmitido al resto de sus congéneres, Buckstaff 2004).

En el presente estudio se propone una **nueva clasificación** que describe qué tan **compleja** o **simple** es la **modulación de los silbidos** emitidos por los **tursiones**. Otros estudios han clasificado los contornos de silbidos en ascendente, descendente, constante, convexo, cóncavo y sinusoidal (Bazúa Durán & Au 2002, Bazúa Durán 2004, Cook *et al.* 2004, Azevedo & Van Sluys 2005, López Rivas 2010, Díaz López 2011); pero realizar esta clasificación no siempre es una tarea sencilla porque los contornos de los silbidos son un continuo y estas categorías son discretas (Bazúa Durán & Au 2002). Por ello, en el presente estudio se escogió una **nueva forma de clasificación de los silbidos**, la cual no se encontró reportada en ningún estudio previo y con la que los tipos de silbidos se agruparon en un menor número de categorías (cuatro en vez de seis). Esta nueva clasificación consiste en agrupar **los tipos de silbidos en cuatro categorías generales** de acuerdo a su modulación (silbidos complejos con gran modulación, silbidos complejos con poca modulación, silbidos simples con modulación lineal larga y silbidos simples con modulación lineal corta). Además, a partir de esta clasificación en cuatro categorías fue posible calcular un índice de complejidad del repertorio de los silbidos, el cual fue útil para determinar qué tan complejo era el repertorio y poder comparar distintos repertorios.

El hecho de que los tursiones de ambos acuarios compartieran tipos de silbidos a pesar de que nunca han estado en contacto acústico y que provenían de poblaciones de diferentes océanos indicó que probablemente estos tipos de silbidos son propios de la especie o que son de uso “universal” (López Rivas 2010), por lo que se podría centrar la atención en estos tipos de silbidos cuando se busca identificar a la especie *T. truncatus* acústicamente en poblaciones de tursiones silvestres.

Es importante señalar que el estudio acústico de los mamíferos marinos, específicamente de los tursiones, es de suma importancia ya que, a diferencia de los animales terrestres, los mamíferos marinos dependen fundamentalmente de la acústica para poder comunicarse (Connor *et al.* 1998). De esta manera, al estudiar la abundancia y variedad de los sonidos subacuáticos producidos por los tursiones se puede conocer la importancia ecológica y social de estos mamíferos marinos, la cual es de gran interés para el conocimiento sobre la comunicación animal (dos Santos *et al.* 2005).

A pesar de que el estudio de tursiones en cautiverio puede involucrar la modificación del comportamiento acústico y no acústico de los tursiones, es de gran importancia debido a que es posible identificar qué tursión emitió la fonación bajo condiciones controladas, en contraste con los estudios con tursiones silvestres donde no se sabe cuál tursión emitió la fonación, por lo que se dificulta el estudio. Además, gracias a los estudios en cautiverio es posible realizar estudios durante ciclos de 24 horas como el presente estudio, debido a que es posible observar a los mismos

tursiones durante el día y la noche, en contraste con los estudios en tursiones silvestres en donde no es posible el seguimiento de un tursión en específico para conocer su comportamiento durante el día y la noche. Por lo que, a pesar de que el comportamiento de los tursiones puede ser modificado por las condiciones de cautiverio, se puede obtener una buena aproximación del comportamiento tanto acústico como no acústico que llevan a cabo los tursiones y extrapolarlo con sus debidas restricciones al comportamiento acústico y no acústico en tursiones silvestres.

Finalmente, es importante mencionar que el presente estudio constituye una base para la investigación del comportamiento acústico, tanto de silbidos como de otras fonaciones emitidas por tursiones en cautiverio durante ciclos de 24 horas, que se puede realizar en otros acuarios en México y en el mundo.



## 8. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Acevedo-Gutiérrez A. & Stienessen S.C. 2004. Bottlenose dolphins (*Tursiops truncatus*) increase number of whistles when feeding. *Aquatic Mammals*. **30**(3): 357-362.
- Au W.W.L. 1993. *The Sonar of Dolphins*. Springer-Verlag. New York, EE.UU. 273 pp.
- Au W.W.L. 2000. Hearing in Whales and Dolphins: An Overview. pp. 1-42. En: Au W.W.L., Popper A.N. & Fay R.R. (eds.). *Hearing by Whales and Dolphins*. Springer. New York, EE.UU. 485 pp.
- Azevedo A.F. & Van Sluys M. 2005. Whistles of tucuxi dolphins (*Sotalia fluviatilis*) in Brazil: Comparisons among populations. *Journal of the Acoustical Society of America*. **117**(3): 1456-1464.
- Bazúa-Durán C. 2004. Differences in the whistle characteristics and repertoire of bottlenose and spinner Dolphins. *Annals of the Brazilian Academy of Sciences*. **76**(2): 386-392.
- Bazúa-Durán C. 2010. Sonidos en el mar: el delfín y el camarón tronador. *Ciencias*. **61**(1): 56-67.
- Bazúa-Durán C. & Au W.W.L. 2002. The whistles of Hawaiian spinner dolphins. *Journal of the Acoustical Society of America*. **112**(6): 3064-3072.
- Berta A., J.L. Sumich & Kovacs K.M. 2006. *Marine Mammals: Evolutionary Biology*. 2a ed. Academic Press Elsevier. San Diego, EE.UU. 547 pp.
- Bloom P.R.S. 1991. The diary of a wild, solitary, Bottlenose Dolphin (*Tursiops truncatus*), resident off Amble on the north Northumberland coast of England, from April 1987 to January 1991. *Aquatic Mammals*. **17**(3): 103-119.
- Bloom P.R.S., Goodson A.D., Klinowska M. & Sturtivant C.R. 1995. The activities of a wild, solitary bottlenose dolphin (*Tursiops truncatus*). *Aquatic Mammals*. **21**(1): 19-42.
- Buckstaff K.C. 2004. Effects of watercraft noise on the acoustic behavior of bottlenose dolphins, *Tursiops truncatus*, in Sarasota Bay, Florida. *Marine Mammal Science*. **20**(4): 709-725.
- Caldwell M.C. & Caldwell D.K. 1965. Individualized whistler contours in bottlenose dolphins (*Tursiops truncatus*) *Nature* **207**:434-435.
- Caldwell M.C. & Caldwell D.K. 1967. Dolphin community life. *Los Angeles County Museum Nature History Q*. **5**(4):12-15
- Carwardine M. 2002. *Whales dolphins and porpoises*. Smithsonian Handbooks. New York, EE.UU. pp. 192-193.
- Connor R.C., Mann J., Tyack P.L. & Whitehead H. 1998. Social evolution in toothed whales. *TREE*. **13**(6): 228-232.
- Cook M.L.H., Sayigh L.S., Blum J.E. & Wells R.S. 2004. Signature-whistle production in undisturbed free-ranging bottlenose dolphins (*Tursiops truncatus*). *Proceedings of: Biological Sciences*. **271**(1543): 1043-1049.
- Cranford T.W. 2000. In Search of Impulse Sound Sources in Odontocetes. pp. 109-155. En: Au W.W.L., Popper A.N. & Fay R.R. (eds.). *Hearing by Whales and Dolphins*. Springer. New York, EE.UU. 485 pp.
- Datta S. & Sturtivant C. 2002. Dolphin whistle classification for determining group identities. *Signal Processing*. **82**: 251-258.

- Deecke V.B. & Janik V.M. 2006. Automated categorization of bioacoustic signals: Avoiding perceptual pitfalls. *Journal of the Acoustical Society of America*. **119**(1): 645-653.
- Díaz López B. 2011. Whistle characteristics in free-ranging bottlenose dolphins (*Tursiops truncatus*) in the Mediterranean Sea: Influence of behaviour. *Mammalian Biology*. **76**: 180-189.
- dos Santos M.E., Louro S., Couchinho M. & Brito C. 2005. Whistles of bottlenose dolphins (*Tursiops truncatus*) in the Sado Estuary, Portugal: characteristics, production rates, and long-term contour stability. *Aquatic Mammals*. **31**(4): 452-461.
- Durán A.D., Vargas A.C. & Cisneros A.E.C. 2008. Bioestadística. 2a ed. Universidad Nacional Autónoma de México. Facultad de Estudios Superiores Iztacala. Estado de México. México. Pp. 199-206.
- Frantzis A. & Herzing D.L. 2002. Multi-species associations of striped dolphins (*Stenella coeruleoalba*), short-beaked common dolphins (*Delphinus delphis*), and Risso's dolphins (*Grampus griseus*) in the Gulf of Corinth Greece, Mediterranean Sea. *Aquatic Mammals*. **28**: 188-197.
- Gingerich P.D., Wells N.A., Russell D.E. & Ibrahim Shah S.M. 1983. Origin of whales in epicontinental remnant seas: New evidence from the early Eocene of Pakistan. *Science*. **220**: 403-406.
- Gnone G., Moriconi T. & Gambini G. 2006. Activity and sleep in dolphins. *Nature*. **441**: E10-E11.
- Harley H.E. 2008. Whistle discrimination and categorization by the Atlantic bottlenose dolphin (*Tursiops truncatus*): A review of the signature whistle framework and a perceptual test. *Behavioural Processes*. **77**(2): 243-268.
- Hemilä S., Nummela S. & Reuter T. 1999. A Model of the Odontocete Middle Ear. *Hearing Research*. **133**: 82-97.
- Hemilä S., Nummela S. & Reuter T. 2001. Modeling Whale Audiograms: Effects of Bone Mass on High-Frequency Hearing. *Hearing Research*. **151**: 221-226.
- Hersh, S.I. & Duffield D.A. 1990. Distinction between northwest Atlantic offshore and coastal bottlenose dolphins based on hemoglobin profile and morphometry. Pp.129-139. In: S.L. Leatherwood & Reeves R.R. (eds) *The bottlenose dolphins*. Academic Press, San Diego 653p.
- Herzing D.L. 1996. Vocalizations and associated underwater behavior of free-ranging Atlantic spotted dolphins, *Stenella frontalis* and bottlenose dolphins, *Tursiops truncatus*. *Aquatic Mammals*. **22**(2): 61-79.
- Herzing D.L. 2000. Acoustics and social behavior of wild dolphins: Implications for Sound Society. Pp. 225-272. En: Au W.W.L., Popper A.N. & Fay R.R. (eds.). *Hearing by Whales and Dolphins*. Springer. New York, EE.UU. 485 pp.
- Janik V.M. 1999. Pitfalls in the categorization of behaviour: a comparison of dolphin whistle classification methods. *Animal Behaviour*. **57**: 133-143.
- Janik V.M. & Slater P.J.B. 1998. Context-specific use suggests that bottlenose dolphin signature whistles are cohesion calls. *Animal Behaviour*. **56**: 829-838.
- Jefferson T.A., Leatherwood S. & Webber M.A. 1993. *Marine Mammals of the World*. FAO Species Identification Guide. Rome, Italia. 587 pp.

- Jefferson T.A., Webber M.A. & Pitman R.L. 2008. *Marine Mammals of the World: A Comprehensive Guide to their identification*. Elsevier Academic Press. Amsterdam, Holanda. 573 pp.
- Jones G.J. & Sayigh L.S. 2002. Geographic variation in rates of vocal production of free-ranging bottlenose dolphins. *Marine Mammal Science*. **18**(2): 374-393.
- Ketten D.R. 2000. Cetacean Ears. Pp. 43-108. *En: Au W.W.L., Popper A.N. & Fay R.R. (eds.). Hearing by Whales and Dolphins*. Springer. New York, EE.UU. 485 pp.
- Leatherwood S. & Reeves R.R. 1982. Bottlenose dolphin (*Tursiops truncatus*) and other toothed cetaceans. pp: 369-414 *En: Chapman J.A. & Feldhamer G.A. (eds.). Wild Mammals of North America: Biology, Management, Economics*. Johns Hopkins University Press. Baltimore, EE.UU.
- López Rivas R.M. 2010. Análisis de los silbidos de delfín *Tursiops truncatus* con énfasis en la determinación de parámetros acústicos que permitan la discriminación individual. *Tesis doctoral*. Posgrado en Ciencias Biológicas. Universidad Nacional Autónoma de México. 230 pp.
- López Rivas R.M., Bazúa-Durán C., Sarmiento-Ponce E.J. & Deecke V.B. 2009. Stereotypy in the whistles of captive bottlenose dolphins (*Tursiops truncatus*). 18<sup>th</sup> Biennial Conference on the Biology of Marine Mammals. Quebec, Canadá. 12-16 octubre 2009. P. 282 de los resúmenes.
- Lyamin O., Pryaslova J., Lance V. & Siegel J. 2005. Animal behaviour: Continuous activity in cetaceans after birth. *Nature*. **435**: 1177.
- Lyamin O., Pryaslova J., Lance V. & Siegel J. 2006. Lyamin *et al.* reply. *Nature*. **441**: E11.
- Lyamin O., Pryaslova J., Kosenko P. & Siegel J. 2007. Behavioral aspects of sleep in bottlenose dolphin mothers and their calves. *Physiology & Behavior*. **92** (4): 725-733.
- Mann J., Connor R.C., Tyack P.L. & Whitehead H. 2000. *Cetacean Societies: Field Studies of Dolphins and Whales*. The University of Chicago Press. Chicago, EE.UU. 433 pp.
- Marx F.G. & Uhen M.D. 2010. Climate, Critters, and Cetaceans: Cenozoic Drivers of the Evolution of Modern Whales. *Science*. **327**: 993-996.
- McBride A.F. & Hebb D.O. 1948. Behavior of the captive bottlenose dolphin, *Tursiops truncatus*. *Journal of Comparative and Physiological Psychology*. **41**: 111-123.
- Mead J.G. & Potter C.W. 1990. Natural history of bottlenose dolphin along the central Atlantic coast of the United States. Pp. 165-195. *En: Leatherwood S. & Reeves R.R. (eds.). The bottlenose dolphin*. Academic Press. San Diego, EE.UU. 653 pp.
- Miller G.S. 1923. The telescoping of the cetacean skull. *Smithsonian Miscellaneous Collections*. **75**: 1-71.
- Morris R.J. 1986. The acoustic faculty of dolphins. Pp. 369-399. *En: Bryden M.M. & Harrison R. (eds.). Research on Dolphins*. Oxford University Press. New York, EE.UU. 478 pp.

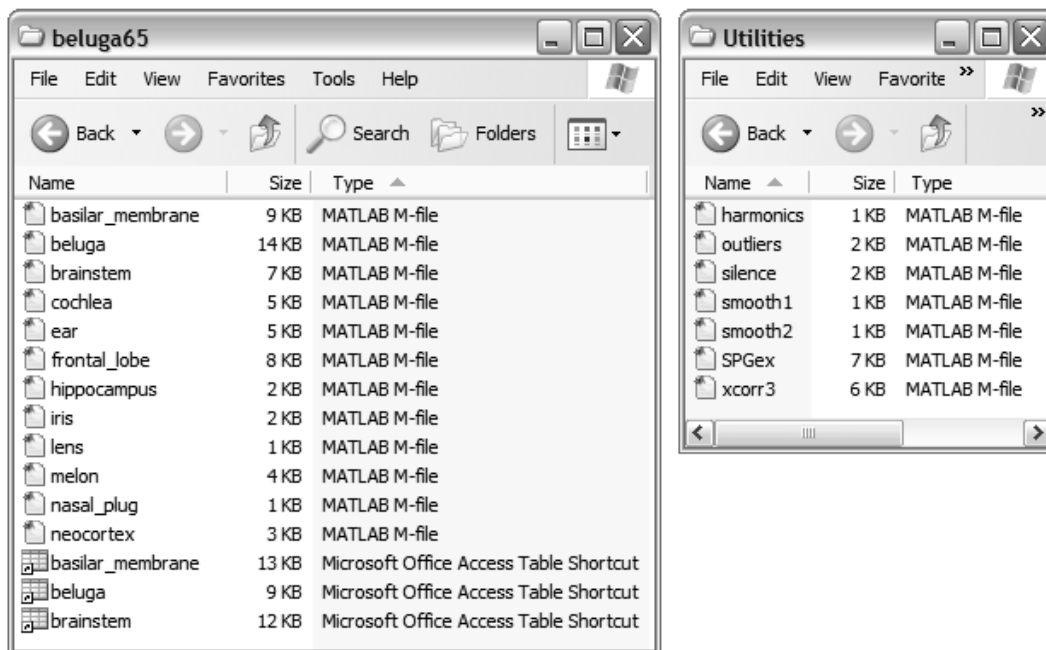
- Norris K.S. 1968. The evolution of acoustic mechanisms in odontocete cetaceans. Pp. 297-324. *En: Drake E.T. (ed.). Evolution and Environment.* Yale University Press. New Haven, EE.UU. 400pp.
- Perrin W.F. & Reilly S.B. 1984. Reproductive parameters of dolphins and small whales of the family Delphinidae. pp. 97-133. *En: Perrin W.F., Brownell R.L. & DeMaster D.P. (eds.). Reproduction in Whales, Dolphins and Porpoises.* International Whaling Commission. Cambridge, Reino Unido. 300 pp.
- Perrin W.F., Würsig B. & Thewissen J.G.M. 2008. *Encyclopedia of Marine Mammals.* 2a ed. Elsevier. San Diego, EE.UU. 1316 pp.
- Powell W. 1966. Periodicity of vocal activity of captive Atlantic bottlenose dolphins, *Tursiops truncatus*. *Bulletin of the Southern California Academy of Science.* **65**(4): 237-244.
- Rice D.W. 2008. Classification. Pp. 234-238. *En: Perrin W.F., Würsig B. & Thewissen J.G.M. (eds.). Encyclopedia of Marine Mammals.* 2a ed. Elsevier. San Diego, EE.UU. 1316 pp.
- Ridgway S.H. 1990. The central nervous system of the Bottlenose Dolphin. pp. 69-100. *En: Leatherwood S. & Reeves R.R. (eds.). The bottlenose dolphin.* Academic Press San Diego, EE.UU. 653 pp.
- Ridgway S.H. 1997. Who are the whales? *Bioacoustics.* **8**: 3-20.
- Samuels A. & Tyack P.L. 2000. Flukeprints: A history of studying Cetacean Societies. Pp. 9-44. *En: Mann J., Connor R.C., Tyack P.L. & Whitehead H. (eds.). Cetacean Societies: Field studies of dolphins and whales.* The University of Chicago Press. EE.UU. 433 pp.
- Sayigh L.S., Esch H.C., Wells R.S. & Janik V.M. 2007. Facts about signature whistles of bottlenose dolphins, *Tursiops truncatus*. *Animal Behaviour.* **74**(6): 1631-1642.
- Sekiguchi Y., Arai K. & Kohshima S. 2006. Sleep in continuously active dolphins. *Nature.* **441**: E9-E10.
- Shane, S.H., Wells, R.S. & Würsig B. 1986. Ecology behavior and social organization of the bottlenose dolphin: A review. *Marine Mammals Science* **2**: 34-63
- Shannon, C. 1948. A mathematical theory of communication. *Bell System Technical Journal.* **27**:379-423, 623-656.
- Smolker R. & Pepper J.W. 1999. Whistle convergence among allied male bottlenose dolphins (Delphinidae, *Tursiops* sp.). *Ethology.* **105**(7): 595-617.
- Tanaka S. 1987. Satellite radio tracking of bottlenose dolphins *Tursiops truncatus*. *Nippon Suisan Gakkaishi.* **53**: 1327-1338.
- Thewissen H. 1998. *The Emergence of Whales.* Springer Plenum Press. New York, EE.UU. 477 pp.
- Tyack P.L. 2000. Functional Aspects of Cetacean Communication. pp. 270-399. *En: Mann J., Connor R.C., Tyack P.L. & Whitehead H. (eds.). Cetacean Societies: Field Studies of Dolphins and Whales.* The University of Chicago Press. EE.UU. 433 pp.

- Tyack P.L. & Clark C.W. 2000. Communication and acoustic behavior of dolphins and whales. pp. 156-224. *En: Au W.W.L., Popper A.N. & Fay R.R. (eds.). Hearing by Whales and Dolphins.* Springer. EE.UU. 485 pp.
- Walsh M.T., Beusse D., Bossart G.D., Young W.G., Odell D.K. & Patton G.W. 1988. Ray encounters as a mortality factor in Atlantic bottlenose dolphins (*Tursiops truncatus*). *Marine Mammals Science.* 4: 154-162.
- Wells R.S. 2003. Dolphin social complexity: Lessons from long-term study and life history. pp: 32-56. *En: De Waal F.B.M. & Tyack P.L. (eds.). Animal Social Complexity: Intelligence, Culture, and Individualized Societies.* Harvard University Press. Cambridge, Reino Unido
- Wells R.S. & Scott M.D. 1999. Bottlenose dolphin *Tursiops truncatus* (Montagu, 1821). pp. 137-182. *En: Ridgway S.H. & Harrison R. (eds.). Handbook of Marine Mammals.* Academic Press. EE.UU.
- Wells R.S. & Scott M.D. 2008. Common Bottlenose Dolphin: *Tursiops truncatus*. pp. 249-255. *En: Perrin W.F., Würsig B. & Thewissen J.G.M. (eds.). Encyclopedia of Marine Mammals.* 2a ed. Elsevier. EE.UU. 1316 pp.
- Wood F.G. 1953. Underwater sound production and concurrent behavior of captive porpoises, *Tursiops truncatus* and *Stenella plagiodon*. *Bulletin of Marine Science of the Gulf and Caribbean.* 3(2): 120-133.
- Wood F.G., Caldwell D.K. & Caldwell M.C. 1970. Behavioral interactions between porpoises and sharks. Pp. 264-277. *En: Pilleri G. (ed.) Investigations on Cetacea* Institute of Brain Anatomy. University of Berne. Berna, Suiza.

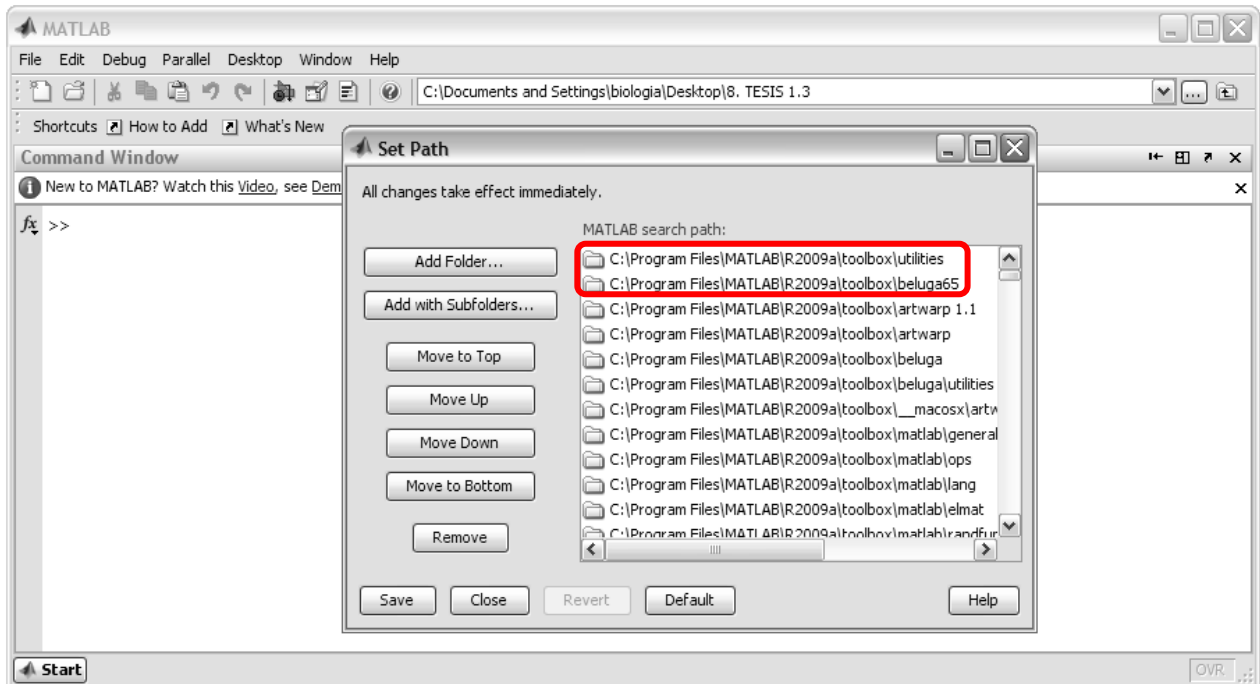
## APÉNDICE I. MANUAL DE INSTALACIÓN DE LAS SUBRUTINAS DE MATLAB: “Beluga” y “ARTwarp”

### I.1. INSTALACIÓN DE LA SUBROUTINA DE MATLAB “Beluga”

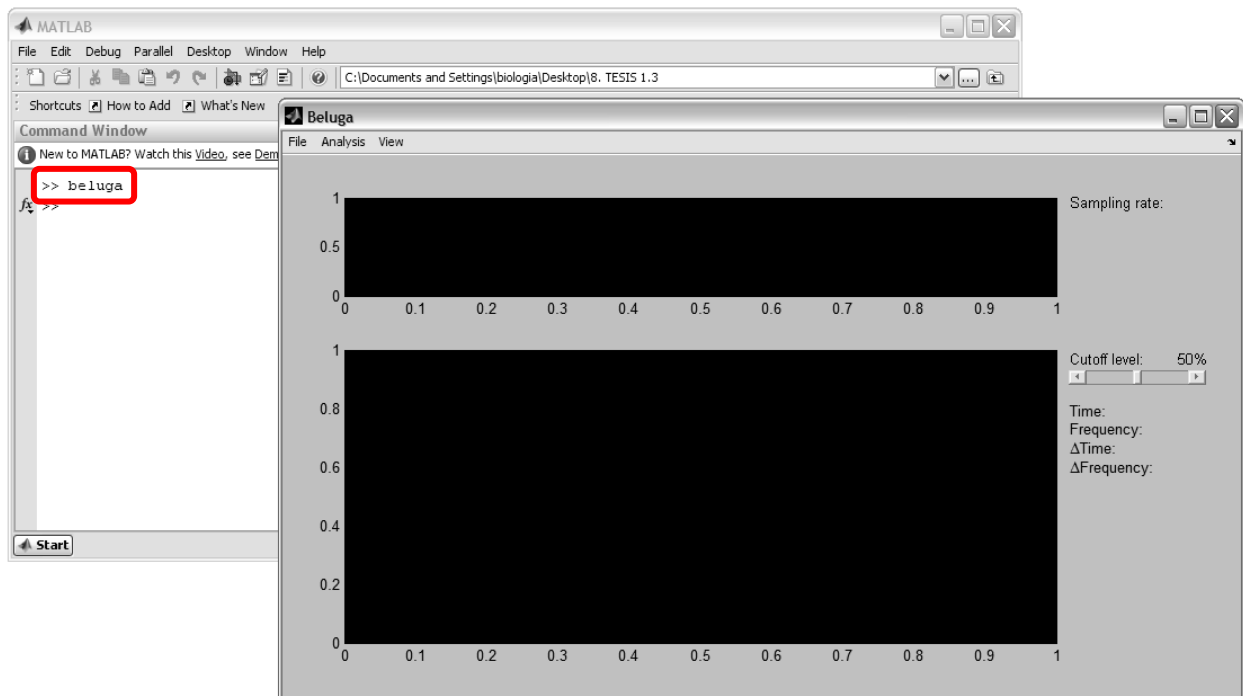
1. La subrutina de MATLAB “Beluga” utilizada para el presente estudio se usa con la **versión 6.5 de MATLAB**.
2. Se debe contar con las dos carpetas que contienen las subrutinas: **Beluga65** y **Utilities**. Estas dos carpetas se deben copiar dentro de la carpeta de **MATLAB 6.5** en la subcarpeta **toolbox**. Por ejemplo, la ubicación podría ser: **C:\Program files\ MATLAB 6.5\ toolbox** (la ubicación depende de donde se encuentre la carpeta de **MATLAB** en cada computadora). Las carpetas **Beluga65** y **Utilities** contienen los siguientes archivos:



3. Abrir el programa **MATLAB** y activar las carpetas **Beluga65** y **Utilities**. Lo anterior se realiza de la siguiente manera: **File > Set Path > Add with Subfolders > Beluga 65 > Save > Close**. Y se realiza el mismo procedimiento para activar la segunda carpeta, es decir: **File > Set Path > Add with Subfolders > Utilities > Save > Close**. Al finalizar el procedimiento anterior se deberán observar las carpetas como se muestra a continuación:



4. Dentro del programa **MATLAB**, en la ventana llamada **Command Window** (en caso de no encontrar esta ventana, entonces: **Desktop > Command Window**), escribir: **beluga** y presionar ENTER. Inmediatamente se desplegará la ventana de la subrutina “**Beluga**”:

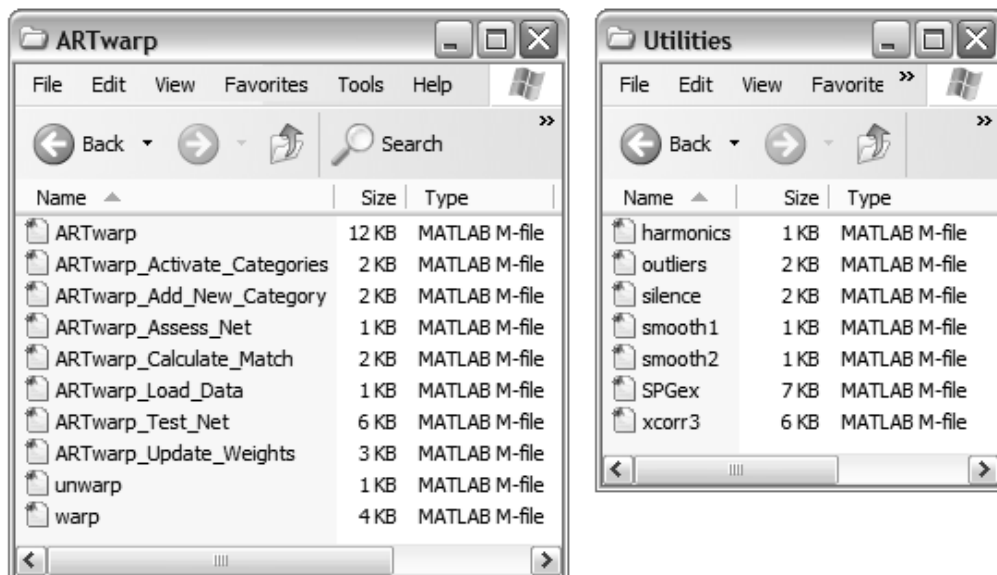


Los archivos con formato **.wav** que se introduzcan a la subrutina “**Beluga**” con el fin de convertirlos a formato **.ctr** deberán estar en **un canal** (debido a que este programa no reconoce los archivos **.wav** en dos canales). Se recomienda generar los archivos **.wav** con el programa “**RAVEN**”, debido a que los archivos **.wav** generados con el programa “**ADOBE AUDITION**” no son reconocidos por la subrutina “**Beluga**”.

Se puede dar el caso de que la subrutina “**Beluga**” deje de extraer los contornos. Entonces, lo que se debe hacer es borrar las carpetas **Beluga65** y **Utilities** de la subcarpeta **toolbox** y pegarlos de nuevo en la subcarpeta **toolbox** para realizar los pasos 3 y 4 nuevamente. De esta manera la subrutina “**Beluga**” funcionará correctamente de nuevo. Es posible que se deba realizar este procedimiento más de una vez.

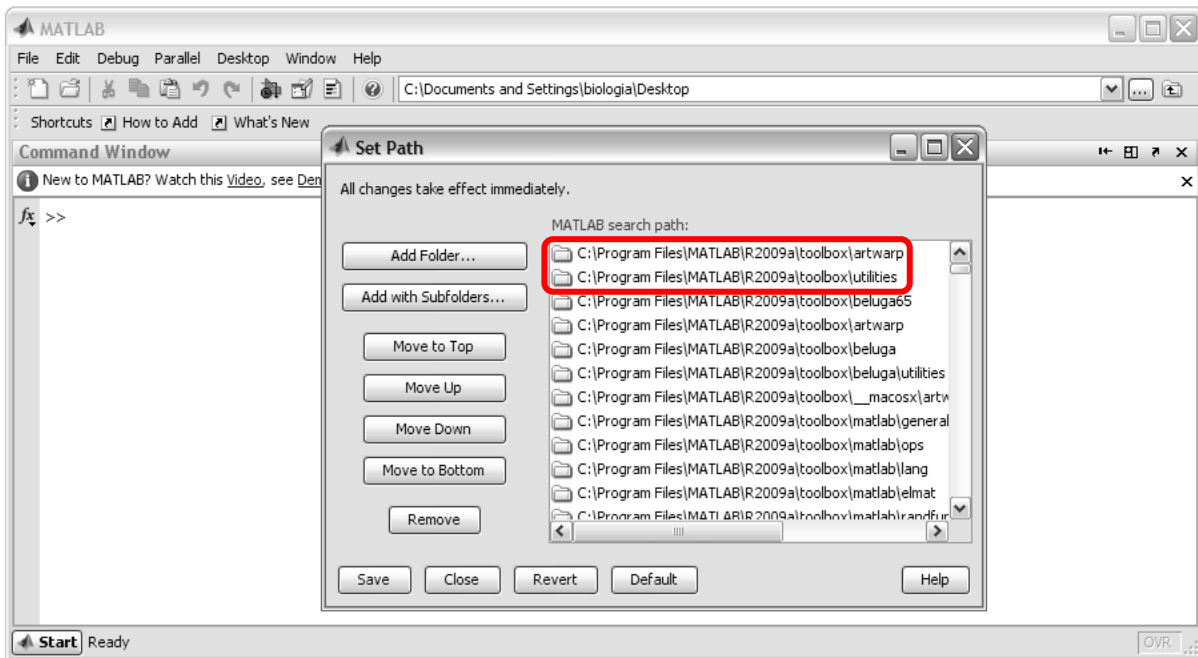
## I.2. INSTALACIÓN DE LA SUBROUTINA DE MATLAB “ARTwarp”

1. La subrutina de **MATLAB “ARTwarp”** utilizada para el presente estudio se usa con la **versión 7 de MATLAB**.
2. Se debe contar con las dos carpetas que contienen la subrutina “**Beluga**”: **ARTwarp** y **Utilities**. Estas dos carpetas, se deben copiar dentro de la carpeta de **MATLAB 7** en la subcarpeta **toolbox**. Por ejemplo, la ubicación podría ser: **C: \Program files\ MATLAB 7\ toolbox** (la ubicación depende de donde se encuentre la carpeta de **MATLAB** en cada computadora). Las carpetas **ARTwarp** y **Utilities** contienen los siguientes archivos:

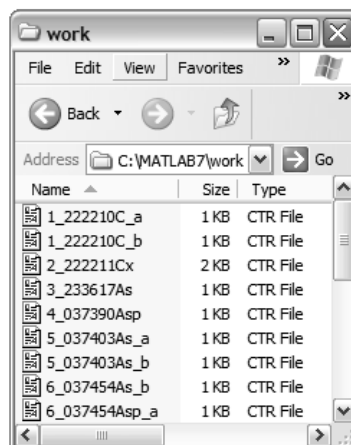




3. Abrir el programa **MATLAB** y activar las carpetas **ARTwarp** y **Utilities**. Lo anterior se realiza de la siguiente manera: **File > Set Path > Add with Subfolders > ARTwarp > Save > Close**. Y se realiza el mismo procedimiento para activar la segunda carpeta, es decir: **File > Set Path > Add with Subfolders > Utilities > Save > Close**. Al finalizar el procedimiento anterior se deberán observar las carpetas como se muestra a continuación:

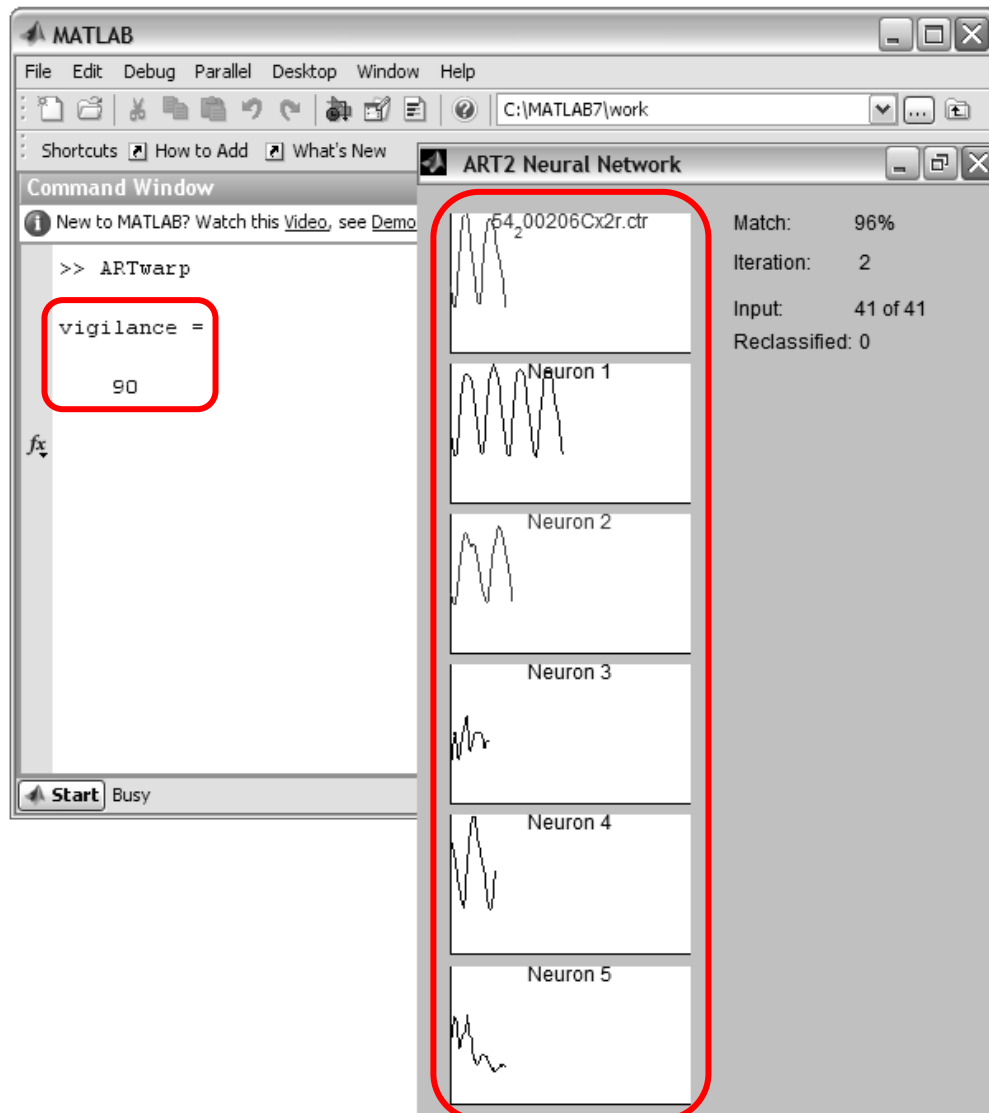


4. Crear una carpeta llamada **work** en la carpeta de **MATLAB 7**. Por ejemplo, la ubicación podría ser: **C:\MATLAB 7\work**. Copiar en esta carpeta los archivos con formato **.ctr** (creados anteriormente en la subrutina “Beluga”) que se deseen utilizar para crear el repertorio de silbidos:



Cada archivo.ctr representa un contorno de silbido a clasificar. El nombre de los archivos con formato .ctr que contienen los contornos de los silbidos **NO** deberán contener espacios vacíos. Si es necesario indicar un espacio, se deberá poner **guión bajo** en lugar del espacio o cualquier otro caracter. De otra manera, el programa no reconocerá el archivo y no podrá hacer la clasificación del contorno de los silbidos.

5. Dentro del programa **MATLAB**, en la ventana llamada **Command Window** (en caso de no encontrar esta ventana, entonces: **Desktop > Command Window**), escribir: **ARTwarp** y presionar ENTER. Inmediatamente la subrutina “**ARTwarp**” comenzar a analizar y a clasificar los contornos de los silbidos contenidos en la carpeta **C:\MATLAB 7\work**, y comienza a desplegar los tipos de tipos de silbidos obtenidos de acuerdo a la iteración en la que se encuentra:



En caso de que se quiera modificar la vigilancia o porcentaje de similitud a un número mayor o menor a 90 (número que se utiliza convencionalmente), se tiene que modificar dentro del archivo: **C: \Program files\ MATLAB 7\ toolbox\ ARTwarp.m**. Dentro de este archivo se debe cambiar el número 90 al valor de similitud deseado y guardar el archivo (**File > Save All**) de la siguiente manera:

