



CENTRO DE INVESTIGACIONES BIOLÓGICAS
DEL NOROESTE, S.C.

Programa de Estudios de Posgrado

**ANÁLISIS DE SILBIDOS DE LA TONINA (*Tursiops truncatus*)
EN LA ENSENADA DE LA PAZ (BAJA CALIFORNIA SUR) ANTE
LA PRESENCIA DE EMBARCACIONES.**

T E S I S

Que para obtener el grado de

Maestro en Ciencias

Uso, Manejo y Preservación de los Recursos Naturales
(Orientación en Biología Marina)

P r e s e n t a

Luis Felipe Estrada Gaviria

La Paz, Baja California Sur, marzo de 2023.

ACTA DE LIBERACIÓN DE TESIS

En la Ciudad de La Paz, B. C. S., siendo las 12:00 horas del día 15 del Mes de marzo del 2023, se procedió por los abajo firmantes, miembros de la Comisión Revisora de Tesis avalada por la Dirección de Estudios de Posgrado y Formación de Recursos Humanos del Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S. C., a liberar la Tesis de Grado titulada:

"Análisis de silbidos de la tonina (*Tursiops truncatus*) en la Ensenada de La Paz (Baja California Sur) ante la presencia de embarcaciones"

Presentada por el alumno:

LUIS FELIPE ESTRADA GAVIRIA

Aspirante al Grado de MAESTRO EN CIENCIAS EN EL USO, MANEJO Y PRESERVACIÓN DE LOS RECURSOS NATURALES CON ORIENTACIÓN EN **BIOLOGÍA MARINA**

Después de intercambiar opiniones los miembros de la Comisión manifestaron su **APROBACIÓN DE LA TESIS**, en virtud de que satisface los requisitos señalados por las disposiciones reglamentarias vigentes.

LA COMISIÓN REVISORA



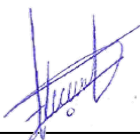
Dr. Eduardo Romero Vivas
Co-Director de Tesis



Dra. Lorena Viloria Gómora
Co-Directora de Tesis



Dr. Braulio León López
Co-Tutor de Tesis



Dra. Gracia Alicia Gómez Anduro,
Directora de Estudios de Posgrado
y Formación de Recursos Humanos

La Paz, Baja California Sur, a 15 de marzo de 2023.

Los miembros del comité de tesis del estudiante Luis Felipe Estrada Gaviria del Programa de Maestría en el Uso, Manejo y Preservación de Recursos Naturales con orientación en Biología Marina, revisamos el contenido de la tesis y otorgamos el Vo.Bo. dado que la tesis no representa un plagio de otro documento como lo muestra el reporte de similitud realizado:

- Herramienta antiplagio:
 1. iThenticate
- Filtros utilizados:
 2. Citas y bibliografías excluidas
- Porcentajes de similitud: 11%
Se muestra captura de pantalla



Citas excluidas
Bibliografía excluida
11%

Resumen de Coincidencias

Rank	Source	Words	Percentage
1	Internet	506 palabras Copiado el 20-Oct-2022 cibnor.repositorioinstitucional.mx	4%
2	Internet	51 palabras Copiado el 23-Nov-2020 bibliotecadigital.exactas.usba.ar	<1%
3	Internet	40 palabras Copiado el 16-Dic-2022 la801806.us.archive.org	<1%
4	Internet	45 palabras hidrobiologica.izt.uam.mx	<1%
5	Internet	44 palabras bdigital.unat.edu.co	<1%
6	Internet	38 palabras eprints.uari.mx	<1%

Firmas del comité



Dr. Eduardo Romero Vivas
Co-Director



Dra. Lorena Viloria Gómora
Co-Directora



Dr. Braulio León López
Co-Tutor

Conformación de Comités

Comité Tutorial

Dr. Eduardo Romero Vivas
Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S.C.
Co-Director de Tesis

Dra. Lorena Viloría Gómora
Universidad Autónoma de Baja California Sur
Co-Directora de Tesis

Dr. Braulio León López
Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S.C.
Co-Tutor de Tesis

Comité Revisor de Tesis

Dr. Eduardo Romero Vivas
Dra. Lorena Viloría Gómora
Dr. Braulio León López

Jurado de Examen

Dr. Eduardo Romero Vivas
Dra. Lorena Viloría Gómora
Dr. Braulio León López

Suplente

Dra. Patricia Cortés Calva

Resumen

Las toninas (*Tursiops truncatus*) que habitan en zonas costeras urbanizadas se ven enfrentadas al sonido producido por actividades humanas como el tráfico de embarcaciones. Varios estudios plantean que estos sonidos impactarían en sus vocalizaciones, pero los resultados no son congruentes. La contribución de cada embarcación depende de sus características, condiciones externas y maniobras, lo cual en general no se considera. Para determinar si los parámetros acústicos de los silbidos de las toninas cambiaban antes y después del paso de embarcaciones (con contribuciones de sonido específicas), se analizaron grabaciones de hidrófonos estacionarios (Tasa de muestreo = 44 kHz, Sensibilidad = -205 dB re 1 μ Pa) ubicados en el canal de navegación de La Ensenada de La Paz (México). Se identificaron los eventos con sonidos de embarcaciones que fuesen únicas en un lapso de 30 minutos, con velocidad y dirección constantes y que contaran con silbidos antes y después de su paso. Se calculó su contribución (dB) en las bandas de 4 a 20 kHz, por tercios de octava (norma ANSI/ASA-S12.64-2009) con respecto al ruido de fondo y se midieron los silbidos encontrados 15 minutos antes y después de su paso. Para cada evento se estableció un umbral (SNR, en dB) que permitiera tener un número de silbidos suficientes ($n > 6$) para una comparación estadística y para cada silbido se le midieron los parámetros de: Frecuencias (kHz) inicial, final, máxima, mínima, pico y duración (s). Se realizaron las pruebas no paramétricas de suma de rangos de Wilcoxon para contrastar las medianas antes y después del paso de la embarcación (prueba de normalidad Kolmogórov-Smirnov $p > 0.05$). Por último, se contrastaron los resultados estadísticos de los cambios de los parámetros de los silbidos frente a las contribuciones de las embarcaciones. Se identificaron 417 silbidos (en 14 de 18 grabaciones), de los cuales 103 cumplieron con los requisitos de selección. Se encontraron diferencias estadísticas en duración ($W = -2.68$, $p = 0.007$) para la embarcación con mayor contribución de sonido (19.83 dB), y en la frecuencia inicial ($W = -2.34$, $p = 0.019$) y frecuencia pico ($W = -2.26$, $p = 0.023$) para la segunda con mayor contribución (16.46 dB). Para las embarcaciones con contribuciones menores (14.51 dB y 0.42 dB) no se encontraron diferencias estadísticas en los parámetros de los silbidos. Los silbidos de las toninas no presentaron una respuesta ante todas las embarcaciones, sino solo ante aquellas con alta contribución de energía sonora (44 veces) respecto al ruido de fondo. Esto reafirma la importancia de la propuesta metodológica que reconoce la contribución particular de cada embarcación al ambiente marino. Se reconoce que al eliminar el sesgo por medición con la utilización del umbral se reduce el número de silbidos utilizados, sin embargo, aumenta la confiabilidad de los resultados respecto a métodos anteriores.

Palabras clave: Silbidos delfines, bioacústica, ruido embarcaciones.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7322-9138>

Vo. Bo. Co-Directores de Tesis



Dr. Eduardo Romero Vivas



Dra. Lorena Viloria Gómora

Summary

Bottlenose dolphins (*Tursiops truncatus*) that inhabit urbanized coastal areas are challenged with sound produced by human activities such as boat traffic. Several studies suggest that these sounds would impact their vocalizations, but the results are not consistent. The contribution of each vessel depends on its characteristics, external conditions, and maneuvers, which are generally not considered. To determine if the acoustic parameters of bottlenose dolphin's whistles changed before and after the pass of motorboats (with specific sound contributions), recordings from stationary hydrophones located in the navigation channel of La Ensenada de La Paz (Mexico) were analyzed (Sampling Rate = 44 kHz, Sensitivity = -205 dB re 1 μ Pa). Events with unique boat sounds in a period of 30 minutes, with constant speed and direction, and whistles before and after the pass of boats were identified. Its contribution regard background noise in bands 4-20 kHz were calculated using third octaves analysis (ANSI/ASA-S12.64-2009 norm) and whistles 15 minutes before and after were measured. For each event, a threshold (SNR, in dB) was established that allowed enough whistles ($n > 6$) for a statistical comparison, and for each whistle the following parameters were measured: Initial, final, minimum, maximum, peak frequencies (kHz) and duration (s). Non-parametric Wilcoxon rank sum tests were performed to contrast the medians before and after the pass of the motorboat (Kolmogórov-Smirnov normality test $p > 0.05$). Finally, the statistical results of the changes in the whistle parameters were contrasted against the contributions of the motorboats. 417 whistles were identified (in 14 of 18 recordings), of which 103 met the selection requirements. Statistical differences were found in duration ($W = -2.68$, $p = 0.007$) for the vessel with the highest sound contribution (19.83 dB), and in the initial frequency ($W = -2.34$, $p = 0.019$) and peak frequency ($W = -2.26$, $p = 0.023$) for the second with the highest contribution (16.46 dB). For the vessels with smaller contributions (14.51 dB and 0.42 dB) no statistical differences were found in the whistle parameters. The whistles of the bottlenose dolphins did not respond to all the motorboats, but only to those with a high contribution of sound energy (44 times) compared to background noise. This confirms the importance of the methodological proposal that recognizes the contribution of each boat to the marine environment. It is recognized that reducing measurement bias with the use of the threshold also reduces the number of whistles used, however, it increases the reliability of the results with respect to previous methods.

Keywords: Dolphins whistles, bioacoustics, boat noise.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7322-9138>

Vo. Bo. Co-Directores de Tesis



Dr. Eduardo Romero Vivas



Dra. Lorena Viloria Gómora

Dedicatoria

“Cierra los ojos, aguza los oídos y, desde el sonido más leve hasta el más violento ruido, desde el tono más sencillo hasta la más elevada armonía, desde el grito más violento y apasionado hasta la más dulce palabra de la razón, es la Naturaleza la que habla, la que revela su existencia, su fuerza, su vida y sus relaciones, hasta el punto de que un ciego al que se niega el mundo infinitamente visible puede capturar la infinita vitalidad a través de lo que oye”

Johann Wolfgang von Goethe

Agradecimientos

Al Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S.C., (CIBNOR) y a la Dirección de Estudios de Posgrado y Formación de Recursos Humanos, por acogerme durante esta etapa de formación y ser la Institución receptora de mis estudios de Maestría.

Al CONACyT por la beca número 1085866 la cuál fue indispensable para mi estancia en México.

Al Dr. Eduardo Romero Vivas, Dra. Lorena Vilorio Gómora y al Dr. Braulio León López por la guiarme durante el proceso y por el conocimiento que se permitieron compartir conmigo, estoy muy agradecido por ello.

A Angélica Estrada, Jafitza Gaviria, Guillermo Estrada y Alexis Castrillón, mi familia, por su incondicional presencia, dispuestos, interesados y brindándome cariño. Los amo.

A mis compañeros de Maestría, ahora colegas y amigos profesionales, por colaborarme cuando lo necesité y apoyarme en momentos complicados que la academia requiere.

A mis primos (Juliana, Carlos, Santiago, Gustavo y Oscar) y amigo de toda la vida (Andrés), por escucharme y apoyarme a seguir haciendo lo que me gusta.

A los nuevos amigos y colegas (Víctor, Imanol, Rodrigo, Daniel y Ricardo) que me regala México, que me acompañaron, ayudaron, escucharon y apoyaron todo este tiempo. Por muchas más alegrías y tristezas.

A la comunidad bioacústica con la que he tenido contacto, muy buenas personas y colegas dispuestos y dispuestas a colaborar con la generación de conocimiento.

Siempre gracias a las personas que influyeron de alguna u otra forma en la realización de esta tesis, de los hidrófonos puestos, del material grabado, del procesamiento, a todos y todas muchísimas gracias.

Gracias a La Paz (BCS), que me acogió, una ciudad tranquila, llena de potencial y futuro.

Contenido

Resumen.....	i
Summary.....	ii
Dedicatoria.....	iii
Agradecimientos.....	iv
Contenido.....	v
Lista de figuras.....	vii
Lista de tablas.....	ix
Abreviaturas.....	x
1. INTRODUCCIÓN	1
2. ANTECEDENTES	4
2.1 Estudios bioacústicos realizados en La Paz, Baja California Sur.....	7
3. JUSTIFICACIÓN	9
4. HIPÓTESIS	10
5. OBJETIVOS	11
5.1 Objetivo general.....	11
5.2 Objetivos particulares.....	11
6. MATERIAL Y MÉTODOS	12
6.1 Área de estudio.....	12
6.2 Selección de sonidos de embarcaciones.....	12
6.3 Diagrama de flujo del procesamiento de señales.....	14
6.4 Procesamiento de silbidos.....	15
6.5 Contribución del sonido de la embarcación.....	16
6.5.1 Análisis de tercios de octava de sonidos de embarcaciones.....	16
6.5.2 Obtención de la contribución de sonido de cada embarcación.....	17
6.6 Comparación de la contribución con los resultados estadísticos.....	17
7. RESULTADOS	18
7.1 Grabaciones y silbidos utilizados.....	18
7.2 Análisis estadístico para los silbidos del Conjunto “Métodos anteriores”.....	18
7.3 Análisis estadístico para los silbidos del Conjunto “Método sin umbral”.....	19
7.4 Análisis estadístico para los silbidos del Conjunto “Método propuesto”.....	20
7.5 Contribución de sonido de las embarcaciones.....	23
8. DISCUSIÓN	26
8.1 Número de silbidos utilizados.....	26
8.2 Comparación entre Métodos anteriores y Método propuesto para medición de respuesta en toninas.....	27
8.3 Aclaraciones sobre efectos fisiológicos de la respuesta de las toninas.....	30
8.4 Limitaciones del método y del estudio.....	31
9. CONCLUSIONES	32
10. LITERATURA CITADA	33
11. ANEXOS	37
Anexo A. Resultados estadísticos de Normalidad (Kolmogórov-Smirnov) para cada evento en los tres métodos diferentes.....	37

Anexo B. Resultados estadísticos de Suma de Rangos (Wilcoxon) para cada evento en los tres métodos diferentes.	40
Anexo C. Diagramas de cajas y bigotes para los eventos en los que no hubo cambios estadísticos.	43
Anexo D. Espectros en tercios de octava para los eventos que tuvieron menos de 21 silbidos en el Conjunto C.	45

Lista de figuras

Figura 1. Ubicación de los hidrófonos en la boya 19 y 29 del Canal de navegación de La Ensenada de La Paz, Baja California Sur.	13
Figura 2. Diagrama de flujo del procesamiento de señales.....	14
Figura 3. Espejo de Lloyd simétrico. Las líneas rojas punteadas indican la simetría del sonido de la embarcación a medida que se acercan y alejan del CPA (línea negra). En líneas blancas continuas se indica el DWL y la flecha blanca punteada indica el tiempo (s) después del CPA. ...	15
Figura 4. Diagrama de cajas y bigotes comparando el antes (A) y el después (D) para el evento 1917-R2. Descrito el valor p para el estadístico Wilcoxon, con un 95% de confianza.....	21
Figura 5. Diagrama de cajas y bigotes comparando antes (A) y después (D) para la duración en el evento 1917-R2. Descrito el valor p para el estadístico Wilcoxon, con un 95% de confianza.	21
Figura 6. Diagrama de cajas y bigotes comparando el antes (A) y el después (D) para el evento 2259-R5. Descrito el valor p para el estadístico Wilcoxon, con un 95% de confianza. El asterisco indica los parámetros que tuvieron cambios estadísticos.....	22
Figura 7. Diagrama de cajas y bigotes comparando antes (A) y después (D) para la duración en el evento 2259-R5. Descrito el valor p para el estadístico Wilcoxon, con un 95% de confianza	22
Figura 8. Espectro en bandas de tercios de octava para el evento 1917-R2. En gris oscuro el sonido de la embarcación y en gris claro el ruido del fondo marino, ambas en dBV. La línea punteada indica el rango de frecuencia fundamental en el que vocalizan las toninas.....	23
Figura 9. Espectro en bandas de tercios de octava para el evento 2259-R5. En gris oscuro el sonido de la embarcación y en gris claro el ruido del fondo marino, ambas en dBV. La línea punteada indica el rango de frecuencia fundamental en el que vocalizan las toninas.....	24
Figura 10. Espectro en bandas de tercios de octava para la embarcación 0934-R2. En gris oscuro el sonido de la embarcación y en gris claro el ruido del fondo marino, ambas en dBV. La línea punteada indica el rango de frecuencia fundamental en el que vocalizan las toninas.....	24
Figura 11. Espectro en bandas de tercios de octava para la embarcación 2259-R4. En gris oscuro el sonido de la embarcación y en gris claro el ruido del fondo marino, ambas en dBV. La línea punteada indica el rango de frecuencia fundamental en el que vocalizan las toninas.....	25
Figura 12. Diagrama de cajas y bigotes comparando antes (A) y después (D) para las frecuencias en el evento 0934-R2. Descrito el valor p para el estadístico Wilcoxon, con un 95% de confianza	43
Figura 13. Diagrama de cajas y bigotes comparando antes (A) y después (D) para la duración en el evento 0934-R2. Descrito el valor p para el estadístico Wilcoxon, con un 95% de confianza. .	43
Figura 14. Diagrama de cajas y bigotes comparando antes (A) y después (D) para las frecuencias en el evento 2259-R4. Descrito el valor p para el estadístico Wilcoxon, con un 95% de confianza	44
Figura 15. Diagrama de cajas y bigotes comparando antes (A) y después (D) para la duración en el evento 2259-R4. Descrito el valor p para el estadístico Wilcoxon, con un 95% de confianza. .	44
Figura 16. Espectro en tercios de octava para la embarcación 1542-RE353. En gris oscuro el sonido de la embarcación y en gris claro el ruido del fondo marino, ambas en dBV. La línea punteada indica las bandas en las que las toninas vocalizan.	45
Figura 17. Espectro en tercios de octava para la embarcación 2259-R1. En gris oscuro el sonido de la embarcación y en gris claro el ruido del fondo marino, ambas en dBV. La línea punteada indica las bandas en las que las toninas vocalizan.....	45

- Figura 18.** Espectro en tercios de tercios de octava de la embarcación 1317-R9. En gris oscuro el sonido de la embarcación y en gris claro el ruido del fondo marino, ambas en dBV. La línea punteada indica las bandas en las que las toninas vocalizan. 46
- Figura 19.** Espectro en tercios de octava para la embarcación 1917-R1. En gris oscuro el sonido de la embarcación y en gris claro el ruido del fondo marino, ambas en dBV. La línea punteada indica las bandas en las que las toninas vocalizan. 46
- Figura 20.** Espectro en tercios de octava para la embarcación 1232-R3. En gris oscuro el sonido de la embarcación y en gris claro el ruido del fondo marino, ambas en dBV. La línea punteada indica las bandas en las que las toninas vocalizan. 47
- Figura 21.** Espectro en tercios de octava para la embarcación 1232-R2. En gris oscuro el sonido de la embarcación y en gris claro el ruido del fondo marino, ambas en dBV. La línea punteada indica las bandas en las que las toninas vocalizan. 47

Lista de tablas

Tabla 1. Principales respuestas encontradas en los parámetros de silbidos y sus magnitudes de cambio en estudios anteriores.....	6
Tabla 2. Grabaciones procesadas en el presente estudio. Aquí se observa el nombre y la duración de cada grabación.	16
Tabla 3. Número de silbidos antes y después del paso de la embarcación para cada evento utilizado.	18
Tabla 4. Resultados con diferencias estadísticas en la prueba Wilcoxon para los silbidos de "Métodos anteriores". Valor p, valor z y suma de rangos para cada variable que mostró cambios estadísticos.....	19
Tabla 5. Resultados prueba Wilcoxon para los silbidos de "Métodos sin umbral". Valor p, valor z y suma de rangos para cada variable que mostró cambios estadísticos.....	20
Tabla 6. Resultados prueba de Wilcoxon para los silbidos de "Método propuesto". Valor p, valor z y suma de rangos para cada variable que mostró cambios estadísticos.	20
Tabla 7. Contribuciones (dB) al ruido de fondo y número de silbidos de las embarcaciones. Valores de velocidad (km/h) para cada embarcación y detalle del número de silbidos antes y después de la aplicación del umbral SNR.....	25
Tabla 8. Resultados prueba de Normalidad (Kolmogórov-Smirnov) para cada evento de "Métodos anteriores".	37
Tabla 9. Resultados prueba de Normalidad (Kolmogórov-Smirnov) para cada evento de "Método sin umbral".	38
Tabla 10. Resultados prueba de Normalidad (Kolmogórov-Smirnov) para cada evento de "Método propuesto".	39
Tabla 11. Resultados prueba de Suma de Rangos (Wilcoxon) para cada evento de "Métodos anteriores".....	40
Tabla 12. Resultados prueba de Suma de Rangos (Wilcoxon) para cada evento de "Método sin umbral".	41
Tabla 13. Resultados prueba de Suma de Rangos (Wilcoxon) para cada evento de "Método propuesto".	42

Abreviaturas

ANSI:	American National Standards Institute
ASA:	Acoustical Society of America
C:	Constante de velocidad de la luz en el agua
CPA:	Closest Point of Approach
D:	Distancia
dB:	Decibelios
dBV:	Decibelios referencia Voltaje
DWL:	Data Window Length
Hz:	Hertz
kHz:	Kilohertzio
Km:	Kilometro
m:	Metro
Me:	Mediana
Ms:	Milisegundo
n:	Número
NO:	Noroeste
Pa:	Pascal
S:	Segundos
SE:	Sureste
SL:	Source Level
SNR:	Signal to Noise Ratio
SPL:	Sound Pressure Level
W:	Wilcoxon
Vf:	Velocidad final

1. INTRODUCCIÓN

El aumento de la urbanización y desarrollo en zonas costeras promueve un aumento de ruido en el ambiente marino proveniente principalmente de actividades humanas (navegación, construcciones, etc.) y actividades de exploración subacuática (Erbe et al., 2019; McGregor et al., 2013; Peng et al., 2015). Las toninas (*Tursiops truncatus*) al tener una distribución casi global, con excepción de las zonas polares (Niño Torres et al., 2011) la convierte en una especie que coexiste constantemente con dichas zonas en desarrollo. Las toninas al igual que el resto de cetáceos utilizan el sonido para comunicarse dentro de su entorno (Au & Hastings, 2008), el cual está siendo contribuido por el ruido proveniente del tránsito marino creciente. La falta de información sobre la respuesta de las toninas invita a reforzar la atención en la coexistencia con las embarcaciones.

Las vocalizaciones o sonidos producidos por toninas son utilizados en actividades como: detección de presas, navegación, comunicación e identificación de conespecíficos, abarcando desde los 100 Hz hasta los 150 kHz (W. Au & Hastings, 2008; McGregor et al., 2013; Tyack & Clark, 2000). Las vocalizaciones pueden clasificarse cómo: silbidos y clics (Au & Hastings, 2008; Herzing, 2014) y pueden ser utilizados en interacciones sociales, pudiéndose encontrar varios de ellos en un mismo evento (Herzing, 2014). Los clics son vocalizaciones utilizadas principalmente para orientación, navegación y forrajeo. Tienen como característica que son registros muy cortos (40 a 70 μ s), de banda ancha (entre algunas décimas de kHz hasta 150 kHz) y niveles de presión hasta 220 dB re 1 μ Pa a 1m (Au, 2004; Herzing, 2014).

Los silbidos son sonidos tonales utilizados principalmente para comunicación social, duran entre algunas décimas de segundo a pocos segundos, frecuencia fundamental entre 2 a 25 kHz (Caldwell et al., 1989; Herzing, 2014), pero pueden registrar frecuencias más altas (Au & Hastings, 2008) y niveles de fuente (a 1m) de presión sonora alrededor de los 158 dB re 1 μ Pa (Janik, 2000). Existen silbidos de modulación estereotipada; los más conocidos son llamados silbidos firma, que son específicos e individuales que los produce la tonina continuamente a una tasa entre 1 y 10s (Janik & Sayigh, 2013). Pueden constar de una unidad de contorno continuo o de un contorno continuo repetido separado o no (Au & Hastings, 2008; Esch et al., 2009). Se

consideran importantes en interacciones madre-cría, cuidado aloparental, cortejo y reproducción (Caldwell & Caldwell, 1965).

Por su parte, dentro de los estudios de respuesta ante el ruido en entornos marinos, las embarcaciones han tenido mediciones inconsistentes (Antichi et al., 2022; Buckstaff, 2004; Heiler et al., 2016; Jensen et al., 2009). Es importante tener claro que el considerado “sonido producido por embarcaciones” no sólo se genera por el sonido del motor, sino también por la interacción entre la embarcación y el agua, entre otros. Los niveles de contribución de una embarcación dependen, entre otras cosas, del tamaño, la carga y la velocidad de la misma (MacGillivray & de Jong, 2021; Traverso et al., 2017). Así mismo interfieren factores externos en la producción del sonido por ejemplo: las burbujas formadas por la rotación de las propelas (cavitación) (Knowlton, 2017) y la dirección de la embarcación respecto a la corriente generada por los cambios de marea (Romero-Vivas, 2021). Al haber variables interactuando en la contribución, se hace necesaria una estandarización de su medición, como lo propone la norma ANSI/ASA S12.64-2009 para la descripción y medición de sonido subacuático proveniente de embarcaciones (ANSI, 2009; Peng et al., 2015). Esto permitirá que las mediciones puedan ser comparables y más exactas.

Ha habido distintas perspectivas para conocer cómo el sonido antropogénico puede influir en la respuesta de organismos marinos (Kunc et al., 2016; Peng et al., 2015). Se ha evidenciado que los efectos pueden medirse tanto comportamental como fisiológicamente (Kunc et al., 2016; Peng et al., 2015), sin embargo, una respuesta puede acarrear a la otra. Como evidencia comportamental, las toninas han reflejado cambios en la velocidad de los movimientos, en los estados de actividad, tiempo de forrajeo y tasa de producción de silbidos ante la presencia de embarcaciones (Buckstaff, 2004; Marley et al., 2017; May-Collado & Quiñones-Lebrón, 2014). A nivel fisiológico, se ha encontrado que en los mamíferos marinos una de las respuestas presentadas es el corrimiento de umbral temporal, el cual está asociado a su capacidad de escucha disminuida temporalmente luego de la exposición a un sonido intenso (Nachtigall et al., 2004; Peng et al., 2015). También existen evidencias de respuestas a nivel hormonal por parte de toninas frente a la exposición a ruidos de alto nivel (armas sísmicas, nivel pico de presión

entre 198–226 dB re 1 μ Pa), mostrando un aumento en catecolaminas y aldosteronas, las cuales están relacionadas con estrés (Romano et al., 2004). En varias investigaciones se permiten extrapolar dichas respuestas a nivel ecológico, prediciendo posibles cambios en tasas de reproducción y afectaciones en las poblaciones de dichas especies (Peng et al., 2015), mientras que otros plantean modelos matemáticos en dónde las poblaciones pueden mantenerse aún en un aumento de tráfico marino e impacto antropogénico (New et al., 2013). Esto abre paso a futuros planteamientos en dónde se reestructuren las aproximaciones a las mediciones de impacto de ruido antrópico, buscando una estandarización comparable entre estudios.

Por lo anterior, en el presente estudio se determinó si los parámetros de los silbidos de las toninas presentan un cambio estadístico luego del paso de embarcaciones motorizadas en eventos individuales. A través de la caracterización estandarizada del sonido generado por las embarcaciones, se identificó bajo cuales características específicas de dicho sonido las toninas cambian o no los parámetros de sus silbidos.

2. ANTECEDENTES

La tonina (*Tursiops truncatus*) es un delfín con dos ecotipos reconocidos, el de aguas costeras y el de aguas oceánicas, tanto en regiones tropicales como templadas del mundo (Niño Torres et al., 2011). Su distribución los hace más susceptibles a afectaciones por actividades humanas, pero también a ser organismos populares de estudio en comparación con otros odontocetos menos abundantes.

Se han realizado varios estudios investigando la posible existencia de impacto (asumiendo que lo hay) del sonido de las embarcaciones en poblaciones de toninas (Tabla 1). Todos con metodologías diferentes, con resoluciones temporales y espaciales distintas, en las cuales tratan de abordar el problema desde todos los ángulos, pero careciendo de una estandarización de método.

En la Tabla 1 se resumen los resultados encontrados para cada uno de los parámetros de los silbidos que normalmente se miden. Así mismo se observan los rangos de cambios de cada parámetro cuando lo hubo y la magnitud de dicho cambio. Estos estudios tienen en común que las grabaciones utilizadas fueron realizadas desde embarcaciones, siguiendo a las toninas para registrar sus vocalizaciones (Antichi et al., 2022; Buckstaff, 2004; Heiler et al., 2016; Jensen et al., 2009; Luís et al., 2014; May-Collado & Quiñones-Lebrón, 2014; Rako Gospić & Picciulin, 2016). Sólo dos de estos estudios (Heiler et al., 2016; Luís et al., 2014) tomaron la embarcación de investigación como otro tipo de parámetro a tener en cuenta. Sin embargo, el único estudio que reconoce al hecho de grabar desde una embarcación como posible sesgo de medición es Buckstaff (2004). Otros consideraron apagar los motores como parte de la metodología para no afectar la respuesta de las toninas (Luís et al., 2014; May-Collado & Quiñones-Lebrón, 2014; Rako Gospić & Picciulin, 2016a), incluso asumiendo que el sonido de la embarcación de investigación como de menor impacto (May-Collado & Quiñones-Lebrón, 2014).

La comparación más común encontrada fue la de medir los parámetros de vocalizaciones de toninas en presencia y ausencia de embarcaciones. Algunos compararon la misma zona cuando había y cuando no había embarcaciones, teniendo en cuenta su velocidad (Jensen et al., 2009) y

midiendo los parámetros de los silbidos a medida que se aproximaba la embarcación (Buckstaff, 2004). Otros compararon dos y hasta diez zonas con diferentes aportaciones al ambiente acústico marino (Merchant et al., 2014; Rako Gospić & Picciulin, 2016a), resaltando así la relevancia del ruido de fondo como componente a considerar. De igual forma, dos de las investigaciones abarcaron ventanas de tiempo diferentes, comparando entre dos y tres años (May-Collado & Quiñones-Lebrón, 2014; Rako Gospić & Picciulin, 2016).

Como resultado de estas aproximaciones, se sugieren varios factores como los que desencadenan la respuesta de las toninas. Jensen y colaboradores (2009) sugieren que la velocidad de la embarcación es un posible efector, encontrando que a 5 nudos reduciría en un 26% el rango de comunicación de las toninas, y que a 10 nudos podría reducir aún más dicho rango. Heiler y colaboradores (2016) sugieren que es el sonido del motor el que, asociado a la presencia, puede estar desencadenando una respuesta por parte de las toninas. Mientras que Buckstaff (2004) incluye a la aproximación de la embarcación como el desencadenante de esta respuesta. Para las demás investigaciones basta la presencia o ausencia para poder explicar la respuesta de las toninas frente a las embarcaciones. Tanto la velocidad, el sonido del motor, la aproximación y la presencia están relacionadas, una mayor velocidad hará que ocurran cambios en el sonido del motor y a su vez que la aproximación a las toninas sea más rápida, sin embargo, no todas son tenidas en cuenta al tiempo en una sola investigación.

El comportamiento de las toninas frente a la presencia de embarcaciones fue registrado como cambiante primero por Merchant y colaboradores (2014). Luego fue tenido en cuenta como una variable que quizá estaría influyendo en la respuesta de las toninas frente a las embarcaciones (May-Collado & Quiñones-Lebrón, 2014; Rako Gospić & Picciulin, 2016). Estos estudios resaltan que las interacciones sociales y de forrajeo son las situaciones en las que las vocalizaciones son más susceptibles a cambios frente a embarcaciones.

Todos coinciden en el posible enmascaramiento que las embarcaciones puedan estar generando para que haya una respuesta de las toninas. Sin embargo, no han hecho parte de sus estudios demostrar el enmascaramiento, por lo cual visibilizan el poco conocimiento que hay en este tipo de respuestas de las toninas (Jensen et al., 2009). Esto ha permitido identificar inconsistencias

en sus respuestas y sugiriendo una mejor profundización en el tema, para poder entender las consecuencias del efecto acumulativo de esta interacción (Buckstaff, 2004; Luís et al., 2014).

Tabla 1. Principales respuestas encontradas en los parámetros de silbidos y sus magnitudes de cambio en estudios anteriores.

Variables	Comportamiento	Autores	Rango de cambio (kHz)	Magnitud (kHz)
Frecuencia inicial	Aumentó	Heiler <i>et al.</i> (2016)	~7 a ~10	3
		Luis <i>et al.</i> (2014)	7.57 a 10.52	~3
	Disminuyó	Rako Gospić & Picciulin (2016)	NHI	NHI
Frecuencia final	Aumentó	Heiler <i>et al.</i> (2016)	~6 a ~7	1
	Disminuyó	Antichi <i>et al.</i> (2022)	8.66 a 9.88	1.22
		May-Collado & Quiñones-Lebrón (2014)	9.2 a 7.7 *	1.5
Frecuencia máxima	Aumentó	Heiler <i>et al.</i> (2016)	~13 a ~14.5	1.5
		May-Collado & Quiñones-Lebrón (2014)	15.1 a 15.4 *	0.3
	Disminuyó	Rako Gospić & Picciulin (2016)	NHI	NHI
	No cambió	Antichi <i>et al.</i> (2022)	18.53 a 16.96	1.57
		Buckstaff (2004)	NC	NC
Frecuencia Mínima	Aumentó	Buckstaff (2004)	NHI	NHI
		Luis <i>et al.</i> (2014)	6.71 a 8.49	1.78
		Heiler <i>et al.</i> (2016)	~5.3 a ~6	0.7
		Antichi <i>et al.</i> (2022);	6.65 a 7.95	1.3
	Disminuyó	May-Collado & Quiñones-Lebrón (2014)	6.14 a 5.6 *	0.54
Frecuencia pico	Aumentó	Antichi <i>et al.</i> (2022);	9.68 a 9.95	0.27
	Disminuyó	May-Collado & Quiñones-Lebrón (2014)	9.9 a 8.9 *	1
Duración	Aumentó	May-Collado & Quiñones-Lebrón (2014)	0.886 a 1.12 *	0.234
	Disminuyó	Romeau <i>et al.</i> (2017)	NHI	NHI
	No cambió	Heiler <i>et al.</i> (2016)	NC	NC

Todos los valores de la columna Rango de Cambio fueron obtenidos a partir de la mediana excepto aquellos con asterisco que fueron logrados a partir del promedio. NHI: No hubo información; NC: No cambió.

2.1 Estudios bioacústicos realizados en La Paz, Baja California Sur

En un ámbito más local se han llevado a cabo varios estudios que, entre otras cosas, han evidenciado la presencia de las toninas tanto en la Bahía como en La Ensenada de La Paz (Antichi et al., 2022; Gauger et al., 2021; León-López et al., 2021). Estos estudios han abarcado tanto la acústica pasiva (Gauger et al., 2021; León-López et al., 2021) como grabaciones directas siguiendo a las toninas desde embarcación (Antichi et al., 2022). Demostrando inicialmente una temporalidad de uso, dónde hubo una mayor presencia acústica de las toninas en los meses de junio y julio, así como en las noches de los días grabados (Gauger et al., 2021). Esta misma presencia acústica de las toninas fue luego evidenciada en los estudios de León-López y colaboradores (2021) cuando comparan el paisaje sonoro submarino en el canal de la Ensenada durante un día normal (en el 2018) y un día de confinamiento por la pandemia de COVID-19 (en el 2020). Aquí muestran una aproximación a los factores de contribución de ruido en el paisaje sonoro marino, manifestando que el tráfico marino no parece tener tanta contribución y sugieren incluir otras fuentes, como las avenidas adyacentes, a este tipo de estudios.

El estudio más reciente, realizado por Antichi y colaboradores (2022), compara varios parámetros de silbidos de toninas de los dos ecotipos en ausencia de embarcaciones y ante la presencia de un bote pequeño. Las grabaciones se realizaron mediante seguimiento de las toninas objetivo, detenido el bote y procediendo con la grabación. En este estudio ya se integran los conceptos de vocalizaciones de las toninas y su posible respuesta ante la presencia de embarcaciones, encontrando una disminución de la frecuencia máxima (en el ecotipo oceánico) y aumentos en las frecuencias final, mínima y pico (en el ecotipo costero) de los silbidos.

Al igual que los estudios nombrados anteriormente, estos tres últimos sugieren mayores esfuerzos en el conocimiento del comportamiento acústico de toninas y su interacción con embarcaciones bajo diferentes condiciones. Ante esta necesidad, el presente estudio busca entender si existe una respuesta por parte de las toninas ante el paso de embarcaciones

motorizadas en la Ensenada de La Paz, Baja California Sur, utilizando técnicas de acústica pasiva y tratando de eliminar la mayor cantidad de sesgos posibles en el desarrollo metodológico.

3. JUSTIFICACIÓN

Las investigaciones realizadas al impacto antrópico en poblaciones animales nos permiten entender la forma en que estos responden a las actividades humanas que se realizan en su entorno. Las medidas generadas en cuanto a conservación y manejo dependen tanto del conocimiento previo de las especies que habitan cierto lugar como de los estudios de impacto realizados en el área. Las actividades humanas en el canal de La Ensenada de La Paz no dejarán de suceder (Gobierno del Estado de Baja California Sur, 2021; Ortiz Alcaraz, 2006), las embarcaciones seguirán utilizando dicho canal para el tránsito, por ello es importante entender la forma en que responden poblaciones de animales como las toninas frente al uso constante de dicho espacio. La información emergente en estas intersecciones de conocimiento será vital frente a la toma de decisiones en aspectos políticos, sociales, económicos y ambientales de la zona.

Todo esto refuerza la importancia del estudio de mamíferos marinos utilizando acústica, para que a través de la investigación se puedan encontrar un balance en el uso compartido del ecosistema por parte de estos organismos y de las personas (Tyack & Clark, 2000). Entender cómo las toninas responden a perturbaciones antrópicas, como el sonido de las embarcaciones, permite contribuir al conocimiento general de la especie en su hábitat. Además, las toninas juegan un rol ecológico como depredador tope en La Ensenada de La Paz y su presencia refleja la estabilidad en el ecosistema, por lo que afectaciones que se reflejen en las toninas podrían representar problemas en otras partes de la cadena trófica. Aquí ocurren actividades importantes para la población local como la pesca artesanal y el turismo, en los cuales las toninas juegan un rol activo. En la pesca, la presencia de toninas significa que en la zona aún hay comida disponible para su establecimiento y en el turismo representan parte complementaria de las experiencias turísticas que aquí se viven. Por este motivo, entender como las toninas responden a perturbaciones acústicas, favorece a la construcción objetiva de los planes de manejo y regulaciones en estos entornos compartidos.

4. HIPÓTESIS

Los parámetros de los silbidos van a reflejar un cambio estadístico tras el paso de las embarcaciones motorizadas de manera individual con contribuciones de sonido mayores en los rangos de frecuencia fundamental (4 a 20 kHz) de emisión de las toninas.

5. OBJETIVOS

5.1 Objetivo general

Identificar las variaciones en los parámetros de los silbidos antes y después del paso de las embarcaciones motorizadas caracterizando el sonido específico de cada encuentro en La Ensenada de La Paz, Baja California Sur, México.

5.2 Objetivos particulares

Caracterizar los silbidos generados por los delfines antes y después del paso de una embarcación.

Medir la contribución generada por las embarcaciones en el ambiente sonoro.

Comparar los cambios estadísticos de las variables de los silbidos respecto a las contribuciones de las embarcaciones.

6. MATERIAL Y MÉTODOS

6.1 Área de estudio

La Bahía de La Paz se encuentra ubicada en el litoral occidental del Golfo de California, entre los 24° 15' y 24° 97' de Latitud Norte y 110° 30' y 110° 75' de Longitud Oeste. Es un cuerpo de agua semiprotegido, limitando al oeste y sur por la península de Baja California y al este por las islas Espíritu Santo y La Partida. La Bahía tiene un eje mayor orientado NO-SE con una longitud aproximada de 81 km y un eje menor con 33 km (Reyes-Salinas et al., 2003). Dentro de la Bahía de La Paz, se localiza la Ensenada de La Paz, la cual es una laguna costera adyacente a la planicie costera de La Paz (Salgado, 2007). La Ensenada de La Paz es una laguna somera, con una profundidad promedio registrada de 10 m y se comunica con la Bahía de La Paz, a través de 4.5 km de canal con la misma profundidad (Salgado, 2007). La Ensenada está limitada al norte por una barra de arena denominada El Mogote y la parte interior la bordean manglares.

En el presente estudio se analizaron grabaciones registradas por hidrófonos estacionarios ubicados en la Boya 19 y la Boya 29 que marcan el canal de navegación de La Ensenada de La Paz, Baja California Sur (Fig. 1). Los hidrófonos están ubicados estratégicamente en el canal de navegación ya que representan el punto de ingreso-salida desde y hacia la Ensenada de La Paz y de igual forma se han registrado toninas.

6.2 Selección de sonidos de embarcaciones

Se visualizaron las grabaciones en espectrogramas utilizando Raven-Pro 1.6; Un total de 115 horas tomadas en 2018 (Tabla 2) en busca de sonidos de embarcaciones. Desde los espectrogramas, utilizando Audacity 2.4.2 (Open Source Software), se determinó el punto de máxima aproximación (CPA, por sus siglas en inglés) al hidrófono y se calculó la longitud de la ventana de trabajo (DWL, por sus siglas en inglés) de acuerdo con la norma ANSI/ASA S12.64-2009 (Fig. 3) ejecutada según Romero-Vivas (2021). Se seleccionaron los sonidos de embarcación que contaron con una velocidad constante, calculada desde la Ecu. 1 (del Efecto Doppler), y una maniobra fija, identificados en el espectrograma con un patrón de Espejo de Lloyd simétrico (Fig. 3). Así mismo se buscó que cada CPA estuviera más de 30 minutos del CPA

de otros eventos. Para finalizar, a estos mismos sonidos de embarcaciones se les buscará la presencia de silbidos 15 minutos antes y después del CPA.

$$f = f_0 \left(\frac{c}{c+V_f} \right) \quad (1)$$

Dónde f es la frecuencia observada, f_0 es la frecuencia emitida, V_f es la velocidad de la fuente y c es la constante de velocidad del sonido bajo el agua (1500 m/s).

$$V_f = \frac{f_0 \times c}{f} - c \quad (2)$$

$$t = \frac{d}{V_f} \quad (3)$$

Dónde t es tiempo (s), d es el DWL y V_f es la velocidad calculada en ecuación 2.

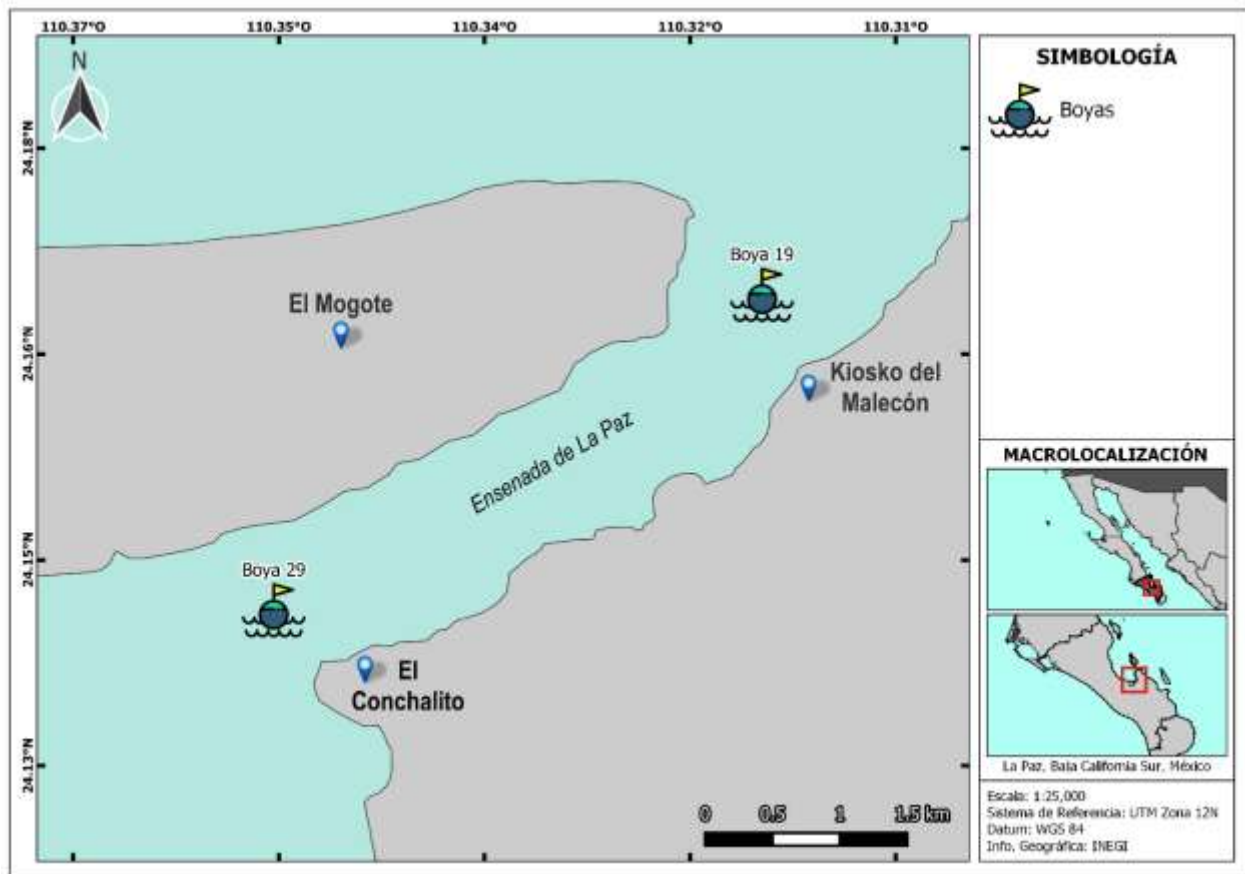


Figura 1. Ubicación de los hidrófonos en la boya 19 y 29 del Canal de navegación de La Ensenada de La Paz, Baja California Sur.

6.3 Diagrama de flujo del procesamiento de señales

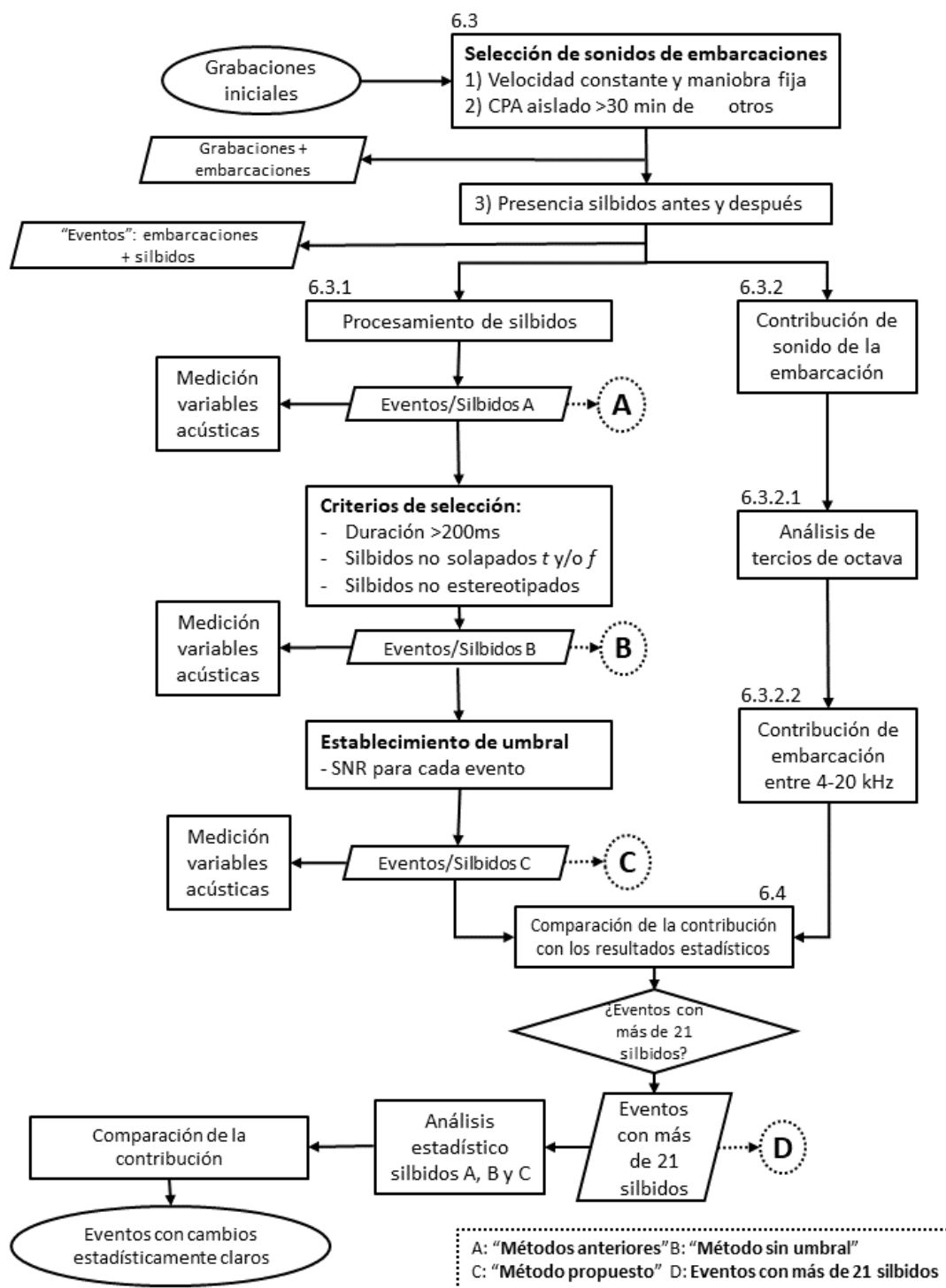


Figura 2. Diagrama de flujo del procesamiento de señales.

Sólo se utilizaron los sonidos de embarcaciones que cumplieron con los siguientes parámetros:

- 1) Velocidad constante y una maniobra fija, identificados a través del Espejo de Lloyd simétrico,
- 2) Estar aislado de otras embarcaciones (>30 min después del CPA) y 3) Que presenten silbidos 15 minutos antes y después del CPA de la embarcación. A estos seleccionados se les denominó: “Eventos”.

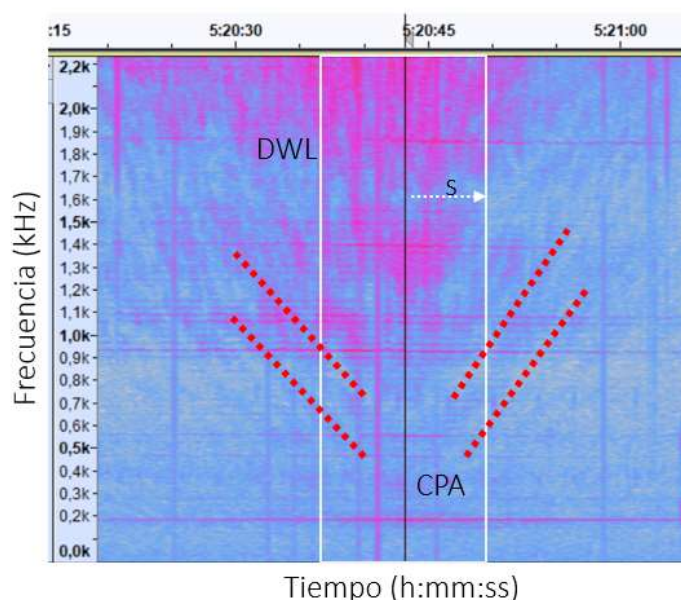


Figura 3. Espejo de Lloyd simétrico. Las líneas rojas punteadas indican la simetría del sonido de la embarcación a medida que se acercan y alejan del CPA (línea negra). En líneas blancas continuas se indica el DWL y la flecha blanca punteada indica el tiempo (s) después del CPA.

6.4 Procesamiento de silbidos

Se generaron tres Conjuntos de datos con los silbidos encontrados en la sección 6.3, identificados como A, B y C. A cada silbido de estos Conjuntos se le midieron las siguientes variables: Frecuencia (kHz) inicial, final, máxima, mínima y duración (s). El Conjunto A, fue denominado como “Métodos anteriores”, corresponde a todos los silbidos encontrado en la sección 6.3. El Conjunto B, fue denominado “Método sin umbral”, corresponderá al grupo de silbidos que cumplan con las siguientes características: 1) Duración mayor a 200 ms, 2) Silbidos no solapados en tiempo y/o frecuencia y 3) Silbidos no estereotipados. El Conjunto C, que fue

denominado como “Método propuesto”, corresponde a los mismos silbidos del Conjunto B, pero además se les midió la frecuencia pico (kHz), la presión de sonido (en dB) en el punto de máxima energía y en el ruido de fondo a la misma frecuencia. Esto permitió calcular la relación señal a ruido de fondo (SNR, en inglés) para cada silbido y establecer un umbral de corte específico para cada evento. Este umbral deberá mantener la mayor cantidad de silbidos antes y después del CPA de cada evento ($n > 6$), sin perder la SNR del silbido.

Tabla 2. Grabaciones procesadas en el presente estudio. Aquí se observa el nombre y la duración de cada grabación.

Grabación	Duración (HH: MM: SS)
'180619_1232_B29.wav'	6:45:46
'180619_1917_B29.wav'	1:38:08
'180628_0356_B29.wav'	6:45:46
'180628_1041_B29.wav'	6:45:46
'180703_0907_B29.wav'	6:45:46
'180704_1210_B29.wav'	5:12:20
'180707_1700_B29.wav'	6:45:46
'180707_2346_B29.wav'	6:45:46
'180708_1317_B29.wav'	6:45:46
'180709_0934_B29.wav'	6:45:46
'180718_1046_B29.wav'	6:45:46
'180814_0020_B29.wav'	6:45:46
'180814_1352_B29.wav'	6:45:46
'180820_1506_B29.wav'	6:45:46
'180824_2259_B29.wav'	6:45:46
'181028_1542m.wav'	6:45:46
'181028_2228m.wav'	6:45:46
'181029_1200m.wav'	6:45:46
Total	115:02:44

6.5 Contribución del sonido de la embarcación

6.5.1 Análisis de tercios de octava de sonidos de embarcaciones

Los sonidos de embarcaciones fueron procesados para obtener análisis de tercios de octava en MATLAB de acuerdo con la aplicación de la norma ANSI/ASA S12.64-2009 para medición de ruido en aguas someras propuesta por (Romero-Vivas, 2021). El análisis de tercios de octava

obtenido aquí permitirá ver la contribución de sonido de la embarcación (dBV) respecto al ruido de fondo (dBV) en el ambiente acústico marino.

6.5.2 Obtención de la contribución de sonido de cada embarcación

Para determinar la contribución de sonido de cada embarcación respecto al ruido de fondo, se obtuvo la diferencia de las contribuciones de la embarcación respecto al ruido de fondo. Luego se sumaron dichas contribuciones para las bandas entre 4 a 20 kHz, las cuales corresponden a las bandas de frecuencia fundamental en las que vocalizan de las toninas.

6.6 Comparación de la contribución con los resultados estadísticos

Se seleccionaron los eventos del Conjunto C que tengan más de 21 silbidos y se les denominó "Conjunto D". Luego se compararon los silbidos del Conjunto D, con los mismos silbidos de Métodos anteriores y Método sin umbral. Se utilizó un análisis de Normalidad (Kolmogórov-Smirnov), donde todos los eventos resultaron teniendo una distribución no normal (Tablas 10:12, Ver Anexos). Posteriormente, se utilizó un análisis no paramétrico (Suma de rangos de Wilcoxon) para comparar la diferencia de sus medianas antes y después del paso de la embarcación. Esto permitió comparar los mismos silbidos utilizando diferentes aproximaciones de medición. Se realizó un diagrama de cajas y bigotes con los silbidos antes y después del Conjunto D para saber si las medianas aumentaron o disminuyeron luego del paso de la embarcación.

7. RESULTADOS

7.1 Grabaciones y silbidos utilizados

Se identificaron 109 eventos de embarcaciones en 14 de las 18 grabaciones analizadas, y sólo 10 eventos cumplieron todos los requisitos para ser seleccionados. En ellos hubo 417 silbidos, (176 antes y 241 después) en los 10 eventos (Tabla 3, Sección 6.2 - Silbidos A). Tras aplicar los criterios de selección de silbidos, se obtuvieron los Silbidos B, conformados por 136 silbidos en total (63 antes y 73 después) presentes en esos mismos eventos. Luego se establecieron los criterios de selección de silbidos para establecimiento del umbral y quedaron 8 eventos que cumplieron dichos requisitos, contando con 132 silbidos (62 antes y 70 después) (Tabla 7, Sección 6.2 - Silbidos C). Finalmente, sólo 4 eventos tienen más de 21 silbidos (Sección 6.2 - Conjunto D) y pueden someterse al análisis estadístico propuesto, contando con 103 silbidos en total (51 antes y 52 después).

Tabla 3. Número de silbidos antes y después del paso de la embarcación para cada evento utilizado.

Evento	Antes	Después	Silbidos totales
181028_1542_RE353	24	6	30
180619_1917_B29_R2	19	33	52
180708_1317_B29_R9	9	3	12
180619_1232_B29_R3	2	1	3
180619_1232_B29_R2	1	5	6
180824_2259_B29_R5	35	24	59
180709_0934_B29_R2	37	51	88
180619_1917_B29_R1	13	8	21
180824_2259_B29_R4	34	89	123
180824_2259_B29_R1	2	21	23

7.2 Análisis estadístico para los silbidos del Conjunto “Métodos anteriores”

El resultado de la prueba Wilcoxon para los silbidos del Conjunto “Métodos anteriores” mostró cambios estadísticos (valor $p < 0.05$) en todas las variables, aunque no en todos los eventos

(Tabla 4). Todos los eventos de embarcación comparados tuvieron al menos una variable que tuvo cambios estadísticos después del paso de esta.

Tabla 4. Resultados con diferencias estadísticas en la prueba Wilcoxon para los silbidos de “Métodos anteriores”. Valor p, valor z y suma de rangos para cada variable que mostró cambios estadísticos.

Evento	Variable	Magnitud de cambio	Valor p	Valor z	Suma de rangos
1917-R2	Frecuencia final (kHz)	4.04 ↑	0.031	-2.156	48.0
	Duración (s)	1.36 ↑	0.041	2.044	124.0
0934-R2	Frecuencia inicial (kHz)	0.40 ↓	0.041	2.046	1385.0
	Frecuencia final (kHz)	1.20 ↑	4.54E-07	5.045	1753.5
	Frecuencia mínima (kHz)	1.43 ↑	7.03E-08	5.390	1796.0
2259-R4	Frecuencia inicial (kHz)	10.46 ↑	8.79E-07	-4.917	1143.5
	Frecuencia máxima (kHz)	3.56 ↑	5.70E-06	-4.537	1203.5
	Duración (s)	0.33 ↑	0.009	-2.604	1509.0
2259-R5	Frecuencia inicial (kHz)	5.49 ↑	0.029	-2.179	699.0
	Frecuencia máxima (kHz)	3.93 ↑	0.002	-3.038	666.5
	Frecuencia mínima (kHz)	0.81 ↑	0.022	-2.286	695.0

Nota: flechas indican el aumento (arriba) o disminución (abajo) del valor de la mediana luego del paso de la embarcación.

7.3 Análisis estadístico para los silbidos del Conjunto “Método sin umbral”

Los resultados de la prueba de Wilcoxon para los silbidos del Conjunto B arrojaron cambios estadísticos (valor $p < 0.05$) en seis variables de los silbidos (Tabla 5). En tres de los eventos de embarcación comparados tuvieron al menos una variable que tuvo cambios estadísticos después del paso de esta.

Tabla 5. Resultados prueba Wilcoxon para los silbidos de “Métodos sin umbral”. Valor p, valor z y suma de rangos para cada variable que mostró cambios estadísticos.

Evento	Variable	Magnitud de cambio	Valor p	Valor z	Suma de rangos
1917-R2	Frecuencia final (kHz)	4.33 ↑	0.036	-2.100	43.0
	Frecuencia inicial (kHz)	0.36 ↓	0.041	2.046	1385.0
0934-R2	Frecuencia final (kHz)	0.21 ↑	4.54E-07	5.045	1753.5
	Frecuencia mínima (kHz)	1.40 ↓	7.03E-08	5.390	1796.0
	Duración (s)	1.50 ↑	1.57E-12	-7.068	267.0
2259-R5	Frecuencia inicial (kHz)	6.38 ↑	0.012	-2.499	108.0

Nota: flechas indican el aumento (arriba) o disminución (abajo) del valor de la mediana luego del paso de la embarcación.

7.4 Análisis estadístico para los silbidos del Conjunto “Método propuesto”

La prueba de Wilcoxon para los silbidos del Conjunto “Método propuesto” evidenció cambios estadísticos (valor $p < 0.05$) en tres de las variables medidas: Duración, frecuencia pico y frecuencia inicial, distribuidas en dos de los eventos de embarcación (1917-R2 y 2259-R5) (Tabla 6). Recordemos que la frecuencia pico se midió para establecer el umbral y fue un criterio de selección en este método (Sección 6.3).

Tabla 6. Resultados prueba de Wilcoxon para los silbidos de “Método propuesto”. Valor p, valor z y suma de rangos para cada variable que mostró cambios estadísticos.

Evento	Variable	Magnitud de cambio	Valor p	Valor Z	Suma de rangos
1917-R2	Duración (s)	0.48 ↑	0.0072	-2.6858	31.0
2259-R5	Frecuencia pico (kHz)	4.6 ↑	0.0238	-2.2606	135.5
	Frecuencia inicial (kHz)	6.46 ↑	0.0195	-2.3363	134.5

Nota: flechas indican el aumento del valor de la mediana luego del paso de la embarcación.

Para comparar las medianas de los silbidos antes y después del paso de la embarcación, se realizaron diagramas de cajas y bigotes para cada evento, mostrando si el parámetro aumentó o disminuyó (Fig. 4:7, Anexos).

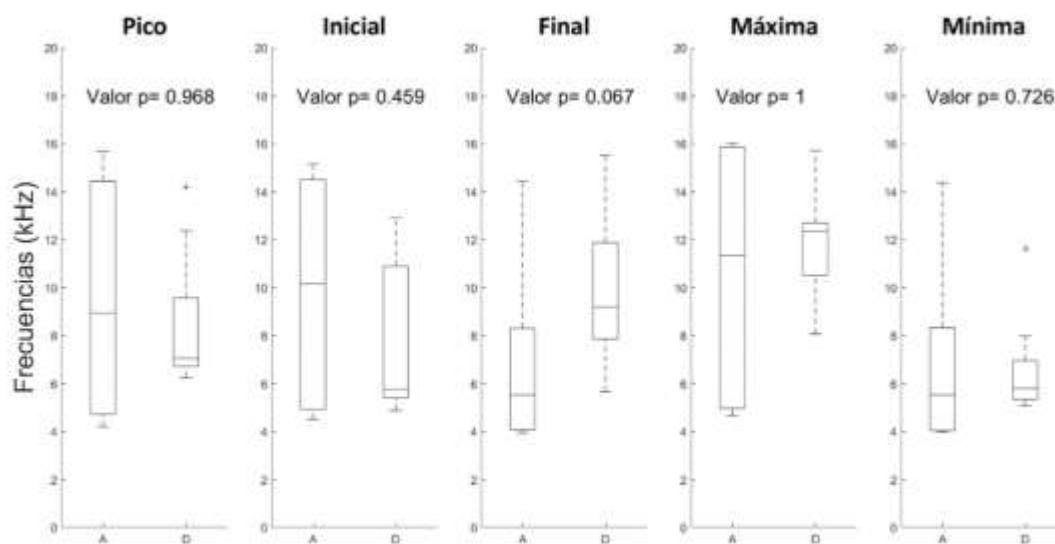


Figura 4. Diagrama de cajas y bigotes comparando el antes (A) y el después (D) para el evento 1917-R2. Descrito el valor p para el estadístico Wilcoxon, con un 95% de confianza.

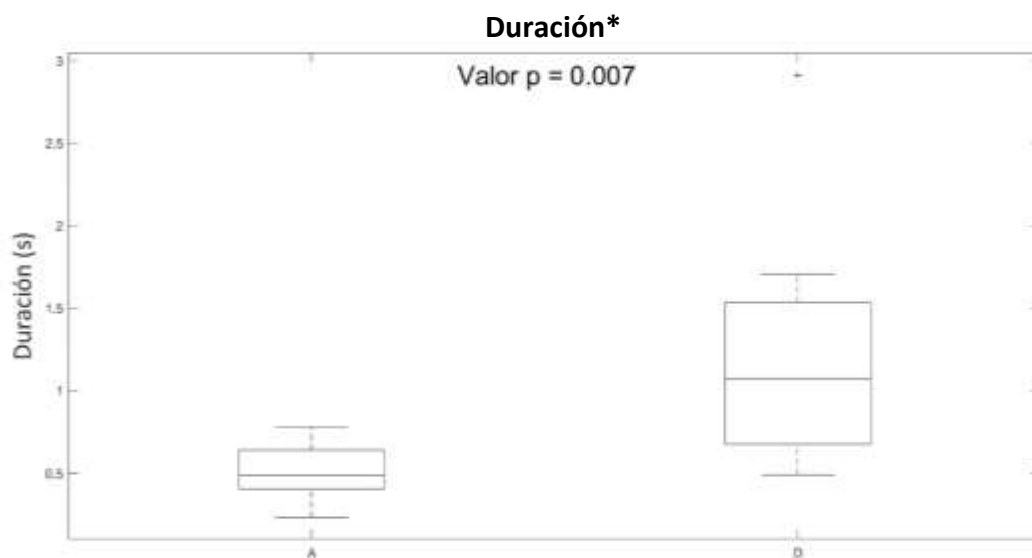


Figura 5. Diagrama de cajas y bigotes comparando antes (A) y después (D) para la duración en el evento 1917-R2. Descrito el valor p para el estadístico Wilcoxon, con un 95% de confianza.

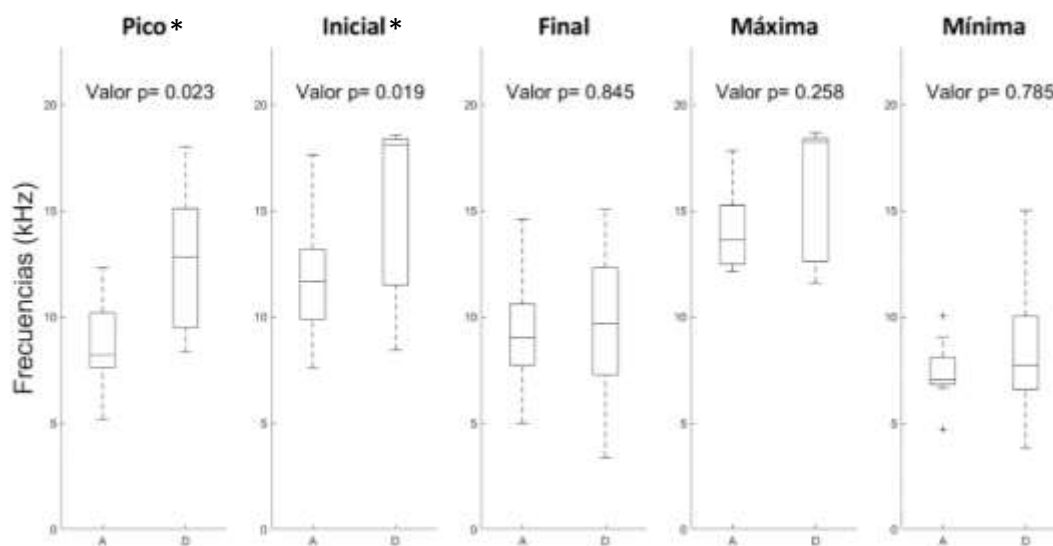


Figura 6. Diagrama de cajas y bigotes comparando el antes (A) y el después (D) para el evento 2259-R5. Descrito el valor p para el estadístico Wilcoxon, con un 95% de confianza. El asterisco indica los parámetros que tuvieron cambios estadísticos.

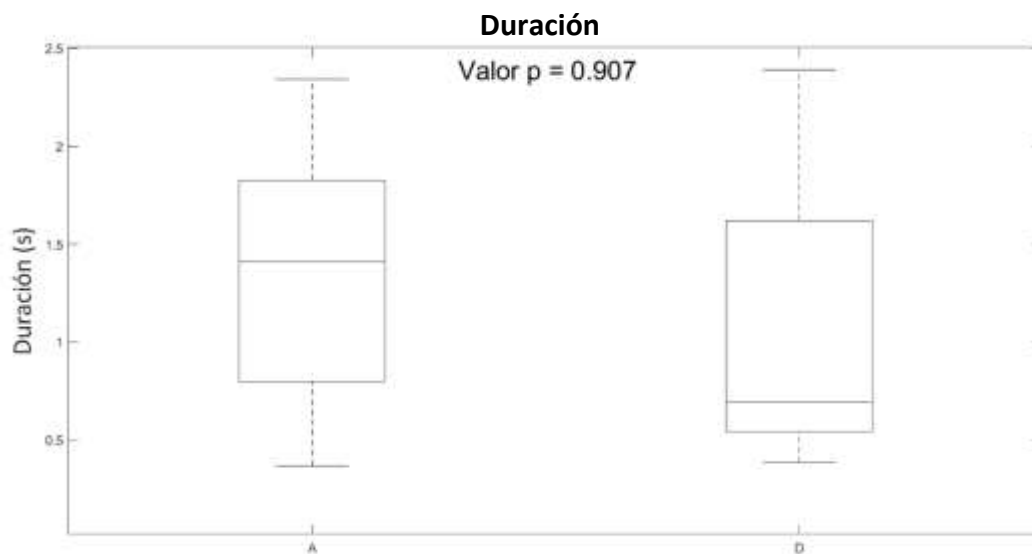


Figura 7. Diagrama de cajas y bigotes comparando antes (A) y después (D) para la duración en el evento 2259-R5. Descrito el valor p para el estadístico Wilcoxon, con un 95% de confianza

La duración para el evento 1917-R2 presentó un aumento, pasando de tener una mediana de 0.49 s (antes) a 0.97 s (después) (Fig. 5). Asimismo, la mediana de la frecuencia pico en el evento 2259-R5 paso de 8.23 kHz (antes) a 12.83 kHz (Después) (Fig. 6) y la de la frecuencia inicial de 11.66 kHz (antes) a 18.12 kHz (después) aumenta (Fig. 6).

7.5 Contribución de sonido de las embarcaciones

Se realizaron análisis de bandas de 1/3 de octava para los sonidos de las embarcaciones y el ruido de fondo para reconocer en cuales bandas del espectro hubo una mayor contribución de sonido. Aquí se muestran los espectros en tercios de octava para los eventos del Conjunto D, los diagramas de las demás embarcaciones se encuentran en anexos.

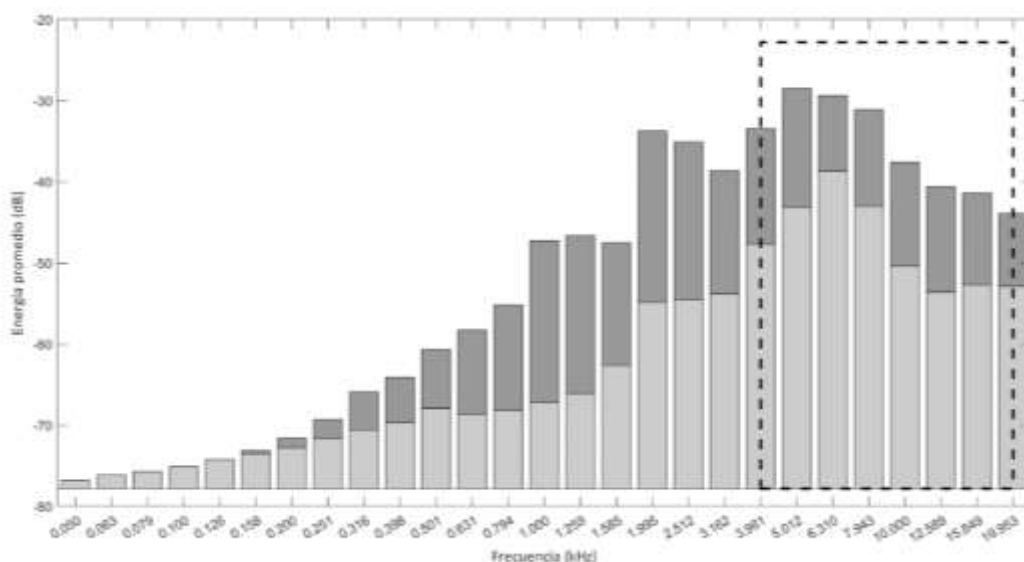


Figura 8. Espectro en bandas de tercios de octava para el evento 1917-R2. En gris oscuro el sonido de la embarcación y en gris claro el ruido del fondo marino, ambas en dBV. La línea punteada indica el rango de frecuencia fundamental en el que vocalizan las toninas.

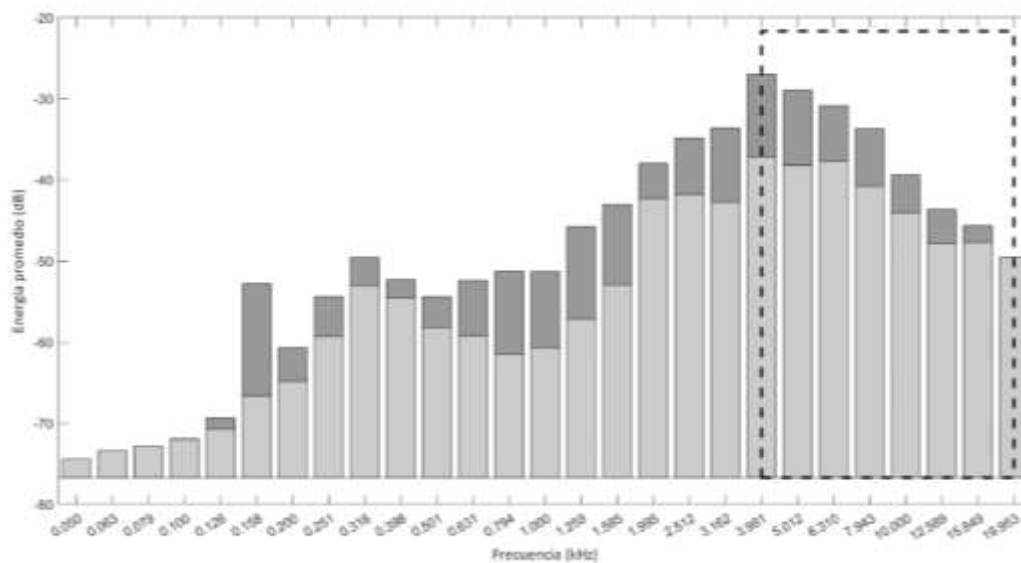


Figura 9. Espectro en bandas de tercios de octava para el evento 2259-R5. En gris oscuro el sonido de la embarcación y en gris claro el ruido del fondo marino, ambas en dBV. La línea punteada indica el rango de frecuencia fundamental en el que vocalizan las toninas.

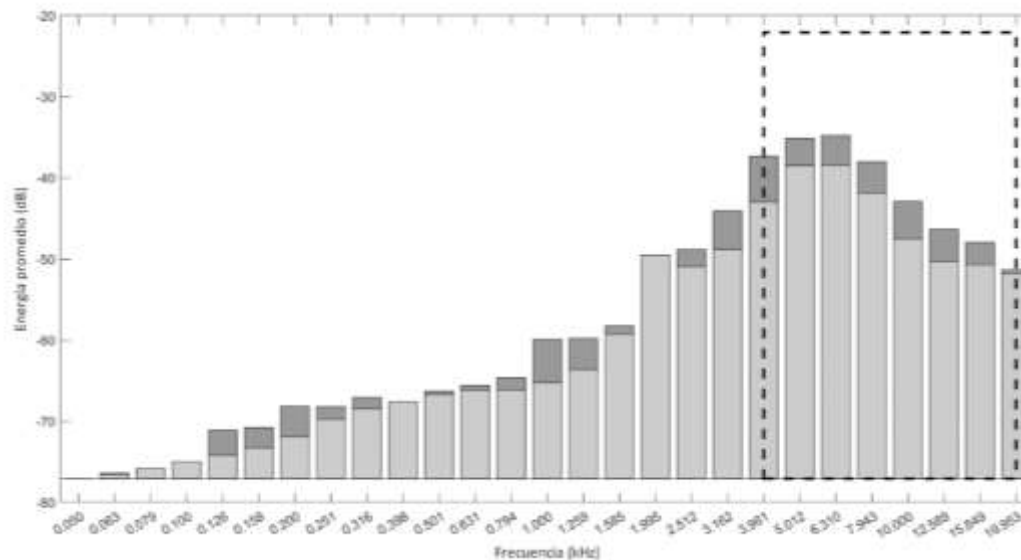


Figura 10. Espectro en bandas de tercios de octava para la embarcación 0934-R2. En gris oscuro el sonido de la embarcación y en gris claro el ruido del fondo marino, ambas en dBV. La línea punteada indica el rango de frecuencia fundamental en el que vocalizan las toninas.

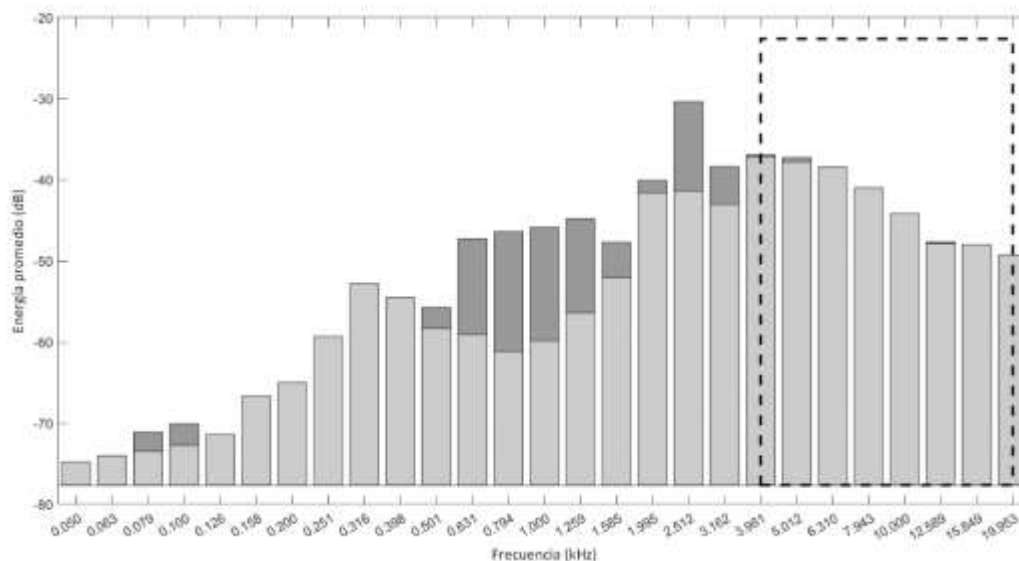


Figura 11. Espectro en bandas de tercios de octava para la embarcación 2259-R4. En gris oscuro el sonido de la embarcación y en gris claro el ruido del fondo marino, ambas en dBV. La línea punteada indica el rango de frecuencia fundamental en el que vocalizan las toninas.

Se obtuvieron las contribuciones de sonido para cada una de las embarcaciones a partir del voltaje acumulado en las bandas de 4 a 20 kHz, las cuales coinciden con el rango de emisión de frecuencia fundamental de las toninas. Además, se calculó la velocidad de la embarcación y se muestran el número de silbidos finales luego de la aplicación del umbral SNR (Tabla 7, Silbidos C).

Tabla 7. Contribuciones (dB) al ruido de fondo y número de silbidos de las embarcaciones. Valores de velocidad (km/h) para cada embarcación y detalle del número de silbidos antes y después de la aplicación del umbral SNR.

Evento	Contribución (dB)	Vel (km/h)	Silbidos		
			Antes	Después	Total
1542_RE353	21.674	27.077	4	4	8
1917_R2	19.829	26.777	6	15	21
1317_R9	19.700	13.882	2	3	5
2259_R5	16.458	24.923	15	6	21
1917_R1	14.791	30.798	4	1	5
0934_R2	14.509	28.723	15	16	31
2259_R1	8.593	23.176	1	10	11
2259_R4	0.419	46.552	15	15	30

Nota: Las filas sombreadas corresponden a los eventos que cumplieron con todos los requisitos.

8. DISCUSIÓN

Con el creciente aumento del transporte marino, se han realizado numerosos estudios de impacto de las embarcaciones sobre comunidades de organismos en este ecosistema (Kunc et al., 2016; McGregor et al., 2013; Peng et al., 2015; Romano et al., 2004). Las toninas al tener una amplia distribución (Niño Torres et al., 2011) coinciden en las zonas dónde dichos flujos de embarcaciones están aumentando. Esto las convierte en una especie común de investigación para evaluar su respuesta acústica frente a la presencia de embarcaciones. Por esta razón, el presente estudio contribuye al entendimiento de la respuesta de las toninas frente a las embarcaciones, evitando los sesgos de medición y reconociendo la individualidad de las contribuciones de cada embarcación.

8.1 Número de silbidos utilizados

En el presente estudio se utilizaron 417 silbidos en total (176 antes y 241 después), provenientes de 18 grabaciones analizadas. Luego de establecer los filtros de selección y tener en cuenta la SNR para establecer un umbral, quedaron 103 silbidos (24,7%) utilizables para análisis estadísticos. Comparando con otros estudios que tuvieron en cuenta el SNR para establecer su uso en estadística, el porcentaje encontrado en el presente estudio no se aleja al de otros que utilizaron más de tres mil silbidos y se quedaron con el 21.7% (Heiler et al., 2016). Otro estudio que tuvo en cuenta el SNR para seleccionar silbidos para la estadística fue Buckstaff (2004), sin embargo, menos porcentaje de silbidos fueron descartados, logrando así trabajar con el 48% de los silbidos totales. Los demás estudios no especifican los criterios de selección de los silbidos y los números utilizados para someterlos a análisis oscilan entre 459 a 592. Esto permite entender que cuando se utilizan filtros y otros criterios para el análisis de silbidos, siempre habrá un porcentaje importante de descarte frente a los logrados inicialmente. Sin embargo, la aplicación de filtros de selección y establecimiento de umbrales permite analizar mediciones con menor número de sesgos y con ello ratifica la veracidad de los resultados.

Así mismo, en el presente estudio se utilizaron grabaciones de dos puntos diferentes del canal de la Ensenada (Tabla 2), pero estos no fueron producto de una comparación como en la

mayoría de otros estudios. Rako Gospić & Picciulin (2016), Jensen y colaboradores (2009) y Buckstaff (2004) realizaron comparaciones entre diferentes zonas, buscando un número alto de grabaciones y abarcar zonas con y sin presencia de botes. Esta comparación entre zonas resulta importante realizarse, ya que la SNR (normalmente asociada con la calidad de los silbidos) dependerá del ruido de fondo, por lo tanto, los resultados obtenidos abarcarán la heterogeneidad del ambiente acústico. Sin embargo, comparar entre zonas requerirá suficientes silbidos para los análisis estadísticos, los cuales, sumado a los filtros, pasarán a ser aún menos de los ya seleccionados.

8.2 Comparación entre Métodos anteriores y Método propuesto para medición de respuesta en toninas

Se realizaron las mediciones de los parámetros a los silbidos del conjunto A, lo cual permitió comparar con estudios realizados anteriormente. Aquí se encontró que hubo cambios estadísticos en todas las variables medidas, para diferentes eventos (Tabla 4). Como se observa en las tablas 1 y 4, las variables que cambian son las mismas (Frecuencias inicial, final, máxima y mínima) con excepción de la duración que no siempre fue medida en estudios anteriores. El hecho que unas respuestas de las toninas aumenten y otras disminuyan podría explicarse como compensación frente a las contribuciones individuales de cada embarcación (Buckstaff, 2004), reafirmando la importancia de analizarlas por separado.

De igual forma ha habido metodologías recurrentes en la medición de silbidos de toninas, las cuales podrían estar influenciando la respuesta por parte de ellas. Por esta razón, en el presente estudio se tuvo en cuenta: 1) La presencia y sonido de la embarcación de investigación podría interferir en la respuesta de las toninas, 2) La relación señal-ruido de fondo de los silbidos registrados (asociada con “calidad de la señal”) es dependiente de la distancia del emisor al receptor, 3) Cada embarcación contribuye de forma diferente de acuerdo con las condiciones propias de navegación y de sus características y 4) El ambiente sonoro cambiante debido a la contribución biofónica y geofónica. Esto se logró grabando los silbidos con hidrófonos estacionarios para así evitar la presencia del equipo de investigación y sesgo en el comportamiento grabado. Estos silbidos a su vez fueron estandarizados utilizando un umbral de

selección y se contrastaron con la contribución de sonido de cada embarcación respecto al sonido de fondo en las bandas de emisión de las toninas.

Como resultado, se encontró que la duración (s), frecuencia inicial (kHz) y frecuencia pico (kHz) aumentaron con claridad estadística (Tabla 6, Fig. 5 y 6) luego del paso de embarcaciones específicas en los eventos 1917-R2 y 2259-R5. Estas embarcaciones resultaron ser, en contraste con el resto (Tabla 7), las mayores aportantes de sonido respecto al ruido de fondo emitido en las bandas de frecuencias fundamentales utilizadas por las toninas en parte de su comunicación. La respuesta evidenciada en las toninas se puede explicar, desde la psicoacústica, como Efecto Lombard, el cuál es una respuesta vocal frente a la exposición a ambientes ruidosos, que incluye cambios en amplitud, en características espectrales y temporales (Hotchkin & Parks, 2013). Dicho de otra forma, el Efecto Lombard consiste en una compensación por la alteración del entorno como: alargando o acortando las vocalizaciones, aumentando o disminuyendo intensidad y frecuencias de emisión, todo esto para que el mensaje sea mejor comprendido. Existe evidencia de Efecto Lombard en otros grupos animales no humanos como aves, anuros, primates y murciélagos, así como también en mamíferos marinos (Brumm & Zollinger, 2011; Hotchkin & Parks, 2013; Kragh et al., 2019; Vera-Cuevas, 2016). Por lo tanto, es muy posible que los cambios en duración, frecuencia inicial y pico encontradas en este estudio en la Ensenada de La Paz sean consecuencia del Efecto Lombard en toninas.

Al contrastar los resultados de los “Métodos anteriores” junto con la nueva propuesta del presente estudio, notamos una diferencia en el número de variables que cambian por evento luego del paso de embarcaciones (“Métodos anteriores”: 5, en cuatro eventos y “Método propuesto”: 3, en dos eventos). También resulta llamativo que las variables que cambiaron en ambos métodos fueran las mismas, dando paso a una revisión más detallada de dichos cambios. Empezando por el uso del umbral, el cual permite estandarizar el ruido de fondo para todas las mediciones y poder hacerlas comparables. Con esto se logra una visualización del contorno de cada silbido bajo las mismas características de ruido de fondo, evitando sesgos por medición. Un ejemplo de este sesgo se pudo evidenciar en los resultados estadísticos para los “métodos anteriores” y los “métodos propuestos”. En este caso, la duración en el evento 1917-R2 y la

frecuencia inicial del evento 2259-R5, presentaron un aumento con relevancia estadística en ambos métodos (Tabla 4 y 6). Aquí, los valores sometidos al análisis estadístico fueron diferentes, y aun así las variables que cambiaron fueron las mismas.

Siguiendo esta línea de análisis podría decirse que ambos métodos presentaron el mismo cambio, sin embargo, la magnitud en cada uno de los cambios fue diferente. En el evento 1917-R2 la duración de los silbidos resultaron ser 0.48 s (Valor $p = 0.007$, Tabla 6) más largos después del paso de la embarcación con el método propuesto, mientras que con los métodos anteriores fue de 1.36 s (Valor $p = 0.04$, Tabla 13) más largos. La misma situación con el evento 2259-R5 donde la frecuencia inicial en el método propuesto fue 6.46 kHz (Valor $p = 0.02$, Tabla 6) más alta luego del paso de una embarcación y con los métodos anteriores fue más alta por 5.49 kHz (Valor $p = 0.03$, Tabla 13). En ambos métodos, la misma variable cambió, pero no de la misma forma. Esto nos permite reflexionar de nuevo sobre el posible sesgo por medición que se cometería utilizando valores sin una estandarización del ruido de fondo. Dicho de otra forma, resalta la importancia de la utilización del SNR para la medición de los parámetros y selección de los silbidos, ya que agrega mayor confianza y veracidad a los resultados estadísticos, que por sí solos no tienen el mismo valor.

La contribución del sonido de las embarcaciones ha sido de mucho interés en los estudios de impacto de origen antropogénico en el medio marino. Recordemos que cada embarcación produce sonidos únicos asociados al tamaño de la carga, la cavitación de las propelas, actividades que realiza, longitud, estado del motor, dirección de avance y no sólo la velocidad (Hildebrand, 2009; Romero-Vivas, 2021). Esto se puede evidenciar en el presente estudio, donde la velocidad de las embarcaciones no muestra un patrón de relación con su contribución al ambiente sonoro (Tabla 7). Por ejemplo, la embarcación que presentó la mayor velocidad tuvo la contribución más baja (0.419 dB), mientras que, para la embarcación más lenta, no se cumplió esta relación inversa (Tabla 7).

De igual forma, y regresando a la metodología, la contribución del sonido se expresa como la diferencia entre el sonido de la señal (que inherentemente incluye el ruido de fondo) y el ruido de fondo (ANSI, 2009), haciendo que este valor de contribución dependa también del ambiente

acústico en La Ensenada. Como se mencionó anteriormente, el ambiente acústico marino es, a su vez, influenciado de factores bióticos y abióticos como: biofonías, antropofonías y geofonías (Rosales-Chalupa, 2022). Esto se evidenció en otros trabajos en La Ensenada de La Paz, dónde en el mismo canal se pueden tener sonidos ambientales sujetos a: flujos de agua, corrientes, geofonías atmosféricas, etc. (Rosales-Chalupa, 2022). Por todo lo anterior, se hace posible que las mismas embarcaciones que fueron medidas en el presente estudio, tengan contribuciones diferentes en otros momentos de marea o temporada del año. Incluso se debe considerar que la respuesta evidenciada por las toninas sea diferente dentro de La Ensenada, dónde la contribución biofónica es dominada por camarón pistola (León-López et al., 2021; Rosales-Chalupa, 2022), a zonas más abiertas de la bahía dónde no la hay.

Reconocer la importancia del ruido del ambiente marino, para determinar la contribución del sonido de una embarcación adquiere un valor especial cuando se habla en términos de conservación. Por ejemplo, La Ensenada de La Paz y parte de la bahía cuentan con un plan de manejo del tiburón ballena que, entre otras recomendaciones, sugiere una velocidad de tránsito para las embarcaciones (SEMARNAT, 2016). La recomendación busca dar tiempo de respuesta ante un evento de colisión, pero también se propone como una medida de contención ante el impacto acústico. En el presente estudio no se observó un patrón entre la velocidad y la contribución de ruido (Tabla 7). Por ello recomendamos tener presente que la velocidad no es un determinante de la contribución del sonido de una embarcación y que es necesario tener en cuentas las demás variables que contribuyen al ambiente acústico del área de estudio.

8.3 Aclaraciones sobre efectos fisiológicos de la respuesta de las toninas

Varios estudios proponen que quizá el sonido producido tanto por embarcaciones como por otras actividades humanas estén afectando las poblaciones de toninas (Buckstaff, 2004; Heiler et al., 2016; Jensen et al., 2009; May-Collado & Quiñones-Lebrón, 2014; Rako Gospić & Picciulin, 2016). Sin embargo, se debe considerar que el ajuste acústico temporal de las toninas frente al sonido de las embarcaciones que se evidenció en el presente estudio es una compensación natural explicada cómo el Efecto Lombard. Hay ambigüedades frente al costo metabólico que pueda tener para las toninas hacer dichos cambios en sus silbidos; aunque un estudio considera

que es grande (Holt et al., 2015), la mayoría, incluyendo el más reciente, aseguran que el costo es pequeño (Jensen et al., 2012; Noren et al., 2013; Pedersen et al., 2019). Sin embargo, en el presente estudio no se realizaron mediciones que permitan entender el costo energético de las toninas al cambiar temporalmente los parámetros de sus silbidos. Por tanto, no se puede asegurar que la respuesta de las toninas traiga consecuencias para los individuos o poblaciones en La Ensenada de La Paz. Así mismo, este estudio no evidencia un corrimiento de umbral temporal o permanente, para ello son necesarios estudios de intensidad de sonido de embarcaciones y curvas de audición de las toninas las cuales no fueron abordados de la presente investigación.

8.4 Limitaciones del método y del estudio

El presente estudio permite entender mejor la respuesta de las toninas al sonido producido por embarcaciones en un entorno específico como el canal de La Ensenada de La Paz, el cual tiene un ancho particular (1,2 km aproximadamente) por el cual transitan tanto toninas como embarcaciones. Debe tenerse en cuenta, que para futuros estudios en zonas diferentes deberá haber certeza que tanto embarcaciones como toninas coincidan en un área reducida de tránsito. Esto significa que lo encontrado respecto a la contribución de embarcaciones y la respuesta de las toninas en sus silbidos a ellas, será diferente cuando estén frente a otras condiciones batimétricas, de corrientes, mareaje, entre otras. Por ejemplo, no se debe dejar a un lado el hecho que en La Ensenada la contribución de sonido de camarón pistola es alta (León-López et al., 2021; Rosales-Chalupa, 2022), situación que no ocurre en zonas abiertas de la bahía. Por esta razón, incluso las mismas toninas vocalizando con la misma intensidad, pero con un ruido de fondo diferente, manifiesten asimismo una respuesta diferente.

9. CONCLUSIONES

La información aquí recopilada provino de un método de selección sistemático y estricto, promoviendo confiabilidad y repetibilidad en las mediciones, que a la final aumentan el grado de valor de los resultados obtenidos. Aquí también se obtuvo información de presión sonora y contribución en bandas de frecuencia para las embarcaciones, procedimiento que no se había hecho en otros estudios de respuesta de toninas frente a embarcaciones. De igual forma, el establecimiento de un umbral para estandarizar la SNR de las señales que se procesarán resultó ser un aporte que marca la diferencia en la confiabilidad de las respuestas. Esto permitió eliminar el sesgo por distancia de la tonina al hidrófono, y se recomienda, en la medida de lo posible, aumentar el número de silbidos para poder establecer un umbral que incluya a la mayoría. Este tipo de aproximación dónde se reconoce la contribución individual de sonido de las embarcaciones y una mejor SNR para los silbidos medidos, aportará una dirección a las futuras investigaciones.

Por su parte, los silbidos de toninas de La Ensenada La Paz evidenciaron una diferencia estadística en los parámetros de duración (0.48 s más largos), frecuencia pico (4.56 kHz más alta) y frecuencia inicial (6.46 kHz más alta) de sus silbidos, luego del paso de algunas embarcaciones motorizadas. Cada una de estas embarcaciones presentaron contribuciones de sonido diferentes en las bandas de emisión de frecuencia fundamental de las toninas (4-20 kHz). Los cambios evidenciados en los silbidos ocurrieron luego del paso de embarcaciones cuya contribución de sonido en dichas bandas fue la más alta (1917-R2 y 2259-R5) respecto a los otros dos eventos. Estos cambios se pueden interpretar como una respuesta de las toninas explicada desde el Efecto Lombard.

10. LITERATURA CITADA

- American National Standard Institute. Acoustic Society of America. (2009). ANSI-ASA S12.64-2009/part 1. Quantities and procedures for description and measurement of underwater sound from ships – Part 1: General requirements. Melville, New York.
- Antichi, S., Jaramillo-Legorreta, A. M., Urbán R., J., Martínez-Aguilar, S., y Vilorio-Gómora, L. (2022). Small vessel impact on the whistle parameters of two ecotypes of common bottlenose dolphin (*Tursiops truncatus*) in La Paz Bay, Mexico. *Diversity*, 14(9): 712. <https://doi.org/10.3390/d14090712>.
- Au, W. (2004). The Sonar of Dolphins. *Acoustics Australia*, 32(2): 61-63.
- Au, W., y Hastings, M. C. (2008). *Principles of Marine Bioacoustics*. Springer, New York, US. <https://doi.org/10.1007/978-0-387-78365-9>.
- Brumm, H., y Zollinger, S. A. (2011). The evolution of the Lombard effect: 100 years of psychoacoustic research. *Behaviour*, 148(11–13): 1173–1198. <https://doi.org/10.1163/000579511X605759>.
- 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. <https://doi.org/10.1111/j.1748-7692.2004.tb01189.x>
- Caldwell, M. C., y Caldwell, D. K. (1965). Individualized whistle contours in Bottlenose Dolphins (*Tursiops truncatus*). *Nature*, 207(4995): 34-35. <https://www.nature.com/articles/207434a0>
- Caldwell, M. C., Caldwell, D. K., y Tyack, P. L. (1990). Review of the signature-whistle hypothesis for the Atlantic Bottlenose Dolphin. En: *The Bottlenose Dolphin*. Academic Press, San Diego, California, US, pp. 199–234. <https://www.elsevier.com/books/the-bottlenose-dolphin/leatherwood/978-0-12-440280-5>.
- Erbe, C., Marley, S. A., Schoeman, R. P., Smith, J. N., Trigg, L. E., y Embling, C. B. (2019). The effects of ship noise on marine mammals—a review. *Frontiers in Marine Science*, 6, 606. <https://doi.org/10.3389/fmars.2019.00606>.
- Gauger, M. F., Caraveo-Patiño, J., y Romero-Vivas, E. (2021). Passive acoustic monitoring of the bottlenose dolphin “*Tursiops truncatus*” to determine continuous presence in Ensenada de La Paz, Mexico. *Revista de Biología Marina y Oceanografía*, 55(3): 238-249. <https://doi.org/10.22370/rbmo.2020.55.3.2588>.
- Gobierno del Estado de Baja California Sur. (2021). Información estratégica La Paz, BCS. <https://biblioteca.setuesbcs.gob.mx/administrador/biblioteca/publicaciones/pdf/01ESTRATEGICOBSC2021.pdf>
- Heiler, J., Elwen, S. H., Kriesell, H. J., y Gridley, T. (2016). Changes in bottlenose dolphin whistle parameters related to vessel presence, surface behaviour and group composition. *Animal Behaviour*, 117, 167–177. <https://doi.org/10.1016/j.anbehav.2016.04.014>.
- Herzing, D. L. (2014). Clicks, whistles and pulses: Passive and active signal use in dolphin communication. *Acta Astronautica*, 105(2): 534–537. <https://doi.org/10.1016/j.actaastro.2014.07.003>.
- Hildebrand, J. (2009). Anthropogenic and natural sources of ambient noise in the ocean. *Marine Ecology Progress Series*, 395, 5–20. <https://doi.org/10.3354/meps08353>.

- Holt, M. M., Noren, D. P., Dunkin, R. C., y Williams, T. M. (2015). Vocal performance affects metabolic rate in dolphins: Implications for animals communicating in noisy environments. *Journal of Experimental Biology*, 218(11): 1-8. <https://doi.org/10.1242/jeb.122424>.
- Hotchkin, C., y Parks, S. (2013). The Lombard effect and other noise-induced vocal modifications: Insight from mammalian communication systems. *Biological Reviews of the Cambridge Philosophical Society*, 88(4): 809–824. <https://doi.org/10.1111/brv.12026>.
- Janik, V. M. (2000). Source levels and the estimated active space of bottlenose dolphin (*Tursiops truncatus*) whistles in the Moray Firth, Scotland. *Journal of Comparative Physiology A*, 186(7–8): 673–680. <https://doi.org/10.1007/s003590000120>.
- Janik, V. M., y Sayigh, L. S. (2013). Communication in bottlenose dolphins: 50 years of signature whistle research. *Journal of Comparative Physiology A*, 199(6): 479–489. <https://doi.org/10.1007/s00359-013-0817-7>.
- Jensen, F. H., Beedholm, K., Wahlberg, M., Bejder, L., y Madsen, P. T. (2012). Estimated communication range and energetic cost of bottlenose dolphin whistles in a tropical habitat. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 131(1): 582–592. <https://doi.org/10.1121/1.3662067>.
- Jensen, F. H., Bejder, L., Wahlberg, M., Aguilar de Soto, N., Johnson, M., y Madsen, P. (2009). Vessel noise effects on delphinid communication. *Marine Ecology Progress Series*, 395, 161–175. <https://doi.org/10.3354/meps08204>.
- Knowlton, C. (2017). Ship - Discovery of Sound in the Sea. Disponible en: <https://dosits.org/galleries/audio-gallery/anthropogenic-sounds/ship/> [consulta: julio 23 2021].
- Kragh, I. M., McHugh, K., Wells, R. S., Sayigh, L. S., Janik, V. M., Tyack, P. L., y Jensen, F. H. (2019). Signal-specific amplitude adjustment to noise in common bottlenose dolphins (*Tursiops truncatus*). *Journal of Experimental Biology*, 222(23): 1-11. <https://doi.org/10.1242/jeb.216606>.
- Kunc, H. P., McLaughlin, K. E., y Schmidt, R. (2016). Aquatic noise pollution: Implications for individuals, populations, and ecosystems. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 283(1836): 1-8. <https://doi.org/10.1098/rspb.2016.0839>.
- León-López, B., Romero-Vivas, E., y Vilorio-Gomora, L. (2021). Reduction of roadway noise in a coastal city underwater soundscape during COVID-19 confinement. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 149(1): 652–659. <https://doi.org/10.1121/10.0003354>.
- Luís, A. R., Couchinho, M. N., y dos Santos, M. E. (2014). Changes in the acoustic behavior of resident bottlenose dolphins near operating vessels. *Marine Mammal Science*, 30(4): 1417–1426. <https://doi.org/10.1111/mms.12125>.
- MacGillivray, A., y de Jong, C. (2021). A reference spectrum model for estimating source levels of marine shipping based on automated identification system data. *Journal of Marine Science and Engineering*, 9(4): 369. <https://doi.org/10.3390/jmse9040369>.
- Marley, S. A., Salgado Kent, C. P., Erbe, C., y Parnum, I. M. (2017). Effects of vessel traffic and underwater noise on the movement, behaviour and vocalisations of bottlenose dolphins in an urbanised estuary. *Scientific Reports*, 7(13437): 1-14. <https://doi.org/10.1038/s41598-017-13252-z>.

- May-Collado, L. J., y Quiñones-Lebrón, S. G. (2014). Dolphin changes in whistle structure with watercraft activity depends on their behavioral state. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 135(4): 193-198. <https://doi.org/10.1121/1.4869255>.
- McGregor, P. K., Horn, A. G., Leonard, M. L., y Thomsen, F. (2013). Anthropogenic Noise and Conservation. En: *Animal Communication and Noise*. Springer, Berlin, Alemania, pp 409–444. https://doi.org/10.1007/978-3-642-41494-7_14.
- Merchant, N. D., Pirotta, E., Barton, T. R., y Thompson, P. M. (2014). Monitoring ship noise to assess the impact of coastal developments on marine mammals. *Marine Pollution Bulletin*, 78(1–2): 85–95. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2013.10.058>.
- Nachtigall, P. E., Supin, A. Ya., Pawloski, J., y Au, W. W. L. (2004). Temporary threshold shifts after noise exposure in the bottlenose dolphin (*Tursiops truncatus*) measured using evoked auditory potentials. *Marine Mammal Science*, 20(4): 673–687. <https://doi.org/10.1111/j.1748-7692.2004.tb01187.x>.
- New, L. F., Harwood, J., Thomas, L., Donovan, C., Clark, J. S., Hastie, G., Thompson, P. M., Cheney, B., Scott-Hayward, L., y Lusseau, D. (2013). Modelling the biological significance of behavioural change in coastal bottlenose dolphins in response to disturbance. *Functional Ecology*, 27(2): 314–322. <https://doi.org/10.1111/1365-2435.12052>.
- Niño Torres, C. A., Urbán Ramírez, J., Vidal, O., y Gorter, U. (2011). *Mamíferos marinos del Golfo de California: Guía ilustrada. (1. ed)*. Alianza WWF-Telcel. México.
- Noren, D. P., Holt, M. M., Dunkin, R. C., y Williams, T. M. (2013). The metabolic cost of communicative sound production in bottlenose dolphins (*Tursiops truncatus*). *Journal of Experimental Biology*, 216(9): 1624–1629. <https://doi.org/10.1242/jeb.083212>.
- Ortiz Alcaraz, A. A. (2006). Diagnóstico integral de los impactos producidos por la industria del turismo en Baja California Sur, México. Tesis de Maestría. Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste. México. https://cibnor.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1001/309/1/ortiz_a.pdf.
- Pedersen, M. B., Fahlman, A., Borque-Espinosa, A., Madsen, P. T., y Jensen, F. H. (2019). Whistling is metabolically cheap for communicating bottlenose dolphins (*Tursiops truncatus*). *Journal of Experimental Biology*, 223(1): 1-12. <https://doi.org/10.1242/jeb.212498>.
- Peng, C., Zhao, X., y Liu, G. (2015). Noise in the Sea and Its Impacts on Marine Organisms. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 12(10): 12304–12323. <https://doi.org/10.3390/ijerph121012304>.
- Rako Gospić, N., y Picciulin, M. (2016). Changes in whistle structure of resident bottlenose dolphins in relation to underwater noise and boat traffic. *Marine Pollution Bulletin*, 105(1): 193–198. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2016.02.030>.
- Reyes-Salinas, A., Cervantes-Duarte, R., Morales-Pérez, R. A., y Valdez-Holguín, J. E. (2003). Variabilidad estacional de la productividad primaria y su relación con la estratificación vertical en la Bahía de la Paz, B.C.S. *Hidrobiológica*, 13(2): 103–110.
- Romano, T. A., Keogh, M. J., Kelly, C., Feng, P., Berk, L., Schlundt, C. E., Carder, D. A., y Finneran, J. J. (2004). Anthropogenic sound and marine mammal health: Measures of the nervous and immune systems before and after intense sound exposure. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 61(7): 1124-1134. <https://doi.org/10.1139/F04-055>.

- Romero-Vivas, E. (2021). Vessel Noise Measurement in Shallow Water According to ANSI/ASA S12.64- 2009 Standard - Medición del ruido de embarcaciones en aguas someras con base en la norma ANSI/ASA S12.64-2009.
- Romeu, B., Cantor, M., Bezamat, C., Simões-Lopes, P. C., y Daura-Jorge, F. G. (2017). Bottlenose dolphins that forage with artisanal fishermen whistle differently. *Ethology*, 123(12): 906–915. <https://doi.org/10.1111/eth.12665>.
- Rosales-Chalupa, D. A. (2022). Uso de índices ecoacústicos para la evaluación del paisaje sonoro submarino de la ensenada de La Paz. Tesis de Maestría. Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste. México.
- Salgado, R. A. M. (2007). Ficha informativa de los humedales de RAMSAR (FIR)—Humedales Mogote-Ensenada de La Paz.
- SEMARNAT. (2016). Plan de manejo para la conservación y aprovechamiento no extractivo de *Rhincodon typus* (tiburón ballena) a través de la observación y nado en la bahía de La Paz, B.C.S. <https://doi.org/10.2305/IUCN.UK.2016-1.RLTS.T19488A2365291.en>.
- Traverso, F., Gaggero, T., Tani, G., Rizzuto, E., Trucco, A., y Viviani, M. (2017). Parametric Analysis of Ship Noise Spectra. *IEEE Journal of Oceanic Engineering*, 42(2): 424–438. <https://doi.org/10.1109/JOE.2016.2583798>.
- Tyack, P. L., y Clark, C. W. (2000). Communication and Acoustic Behavior of Dolphins and Whales. En: *Hearing by Whales and Dolphins*. Springer, New York, pp. 156–224. https://doi.org/10.1007/978-1-4612-1150-1_4.
- Vera-Cuevas, V. C. (2016). Análisis de variaciones geográficas de vocalizaciones del Rorcual Tropical (*Balaenoptera edeni*) en el Golfo de California. Tesis de Maestría. Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste. México.

11. ANEXOS

Anexo A. Resultados estadísticos de Normalidad (Kolmogórov-Smirnov) para cada evento en los tres métodos diferentes.

Tabla 8. Resultados prueba de Normalidad (Kolmogórov-Smirnov) para cada evento de "Métodos anteriores".

Evento	Variable	Resultado	Normalidad
1917-R2	Frecuencia inicial (kHz)	1	4.04804E-26
	Frecuencia final (kHz)	1	4.0693E-26
	Frecuencia máxima (kHz)	1	4.04769E-26
	Frecuencia mínima (kHz)	1	2.58191E-24
	Duración (s)	1	1.43402E-15
0934-R2	Frecuencia inicial (kHz)	1	2.5578E-89
	Frecuencia final (kHz)	1	4.39184E-91
	Frecuencia máxima (kHz)	1	4.34661E-91
	Frecuencia mínima (kHz)	1	1.61087E-87
	Duración (s)	1	4.31808E-23
2259-R4	Frecuencia inicial (kHz)	1	7.7416E-100
	Frecuencia final (kHz)	1	9.2496E-100
	Frecuencia máxima (kHz)	1	7.631E-100
	Frecuencia mínima (kHz)	1	4.66624E-98
	Duración (s)	1	1.08754E-67
2259-R5	Frecuencia inicial (kHz)	1	4.33416E-41
	Frecuencia final (kHz)	1	4.33431E-41
	Frecuencia máxima (kHz)	1	4.33415E-41
	Frecuencia mínima (kHz)	1	2.65566E-39
	Duración (s)	1	2.93304E-27

Tabla 9. Resultados prueba de Normalidad (Kolmogórov-Smirnov) para cada evento de "Método sin umbral".

Evento	Variable	Resultado	Normalidad
1917-R2	Frecuencia inicial (kHz)	1	1.37445E-22
	Frecuencia final (kHz)	1	1.38067E-22
	Frecuencia máxima (kHz)	1	1.37435E-22
	Frecuencia mínima (kHz)	1	1.38067E-22
	Duración (s)	1	2.17353E-17
0934-R2	Frecuencia inicial (kHz)	1	2.5578E-89
	Frecuencia final (kHz)	1	4.39184E-91
	Frecuencia máxima (kHz)	1	4.34661E-91
	Frecuencia mínima (kHz)	1	1.61087E-87
	Duración (s)	1	1.76964E-36
2259-R4	Frecuencia inicial (kHz)	1	6.96922E-28
	Frecuencia final (kHz)	1	7.05511E-28
	Frecuencia máxima (kHz)	1	6.96882E-28
	Frecuencia mínima (kHz)	1	7.05511E-28
	Duración (s)	1	8.0953E-20
2259-R5	Frecuencia inicial (kHz)	1	6.1566E-20
	Frecuencia final (kHz)	1	6.1567E-20
	Frecuencia máxima (kHz)	1	6.1566E-20
	Frecuencia mínima (kHz)	1	6.15699E-20
	Duración (s)	1	5.36686E-14

Tabla 10. Resultados prueba de Normalidad (Kolmogórov-Smirnov) para cada evento de "Método propuesto".

Evento	Variable	Resultado	Normalidad
1917-R2	Frecuencia pico (kHz)	1	6.16334E-20
	Frecuencia inicial (kHz)	1	6.15824E-20
	Frecuencia final (kHz)	1	6.17702E-20
	Frecuencia máxima (kHz)	1	6.1574E-20
	Frecuencia mínima (kHz)	1	6.17461E-20
	Duración (s)	1	1.10087E-07
0934-R2	Frecuencia pico (kHz)	1	9.15211E-29
	Frecuencia final (kHz)	1	4.73431E-28
	Frecuencia mínima (kHz)	1	9.16019E-29
	Frecuencia inicial (kHz)	1	9.1521E-29
	Frecuencia máxima (kHz)	1	9.33928E-29
	Duración (s)	1	9.04973E-12
2259-R4	Frecuencia pico (kHz)	1	6.97097E-28
	Frecuencia final (kHz)	1	6.96947E-28
	Frecuencia mínima (kHz)	1	7.029E-28
	Frecuencia inicial (kHz)	1	6.96947E-28
	Frecuencia máxima (kHz)	1	7.0013E-28
	Duración (s)	1	2.04234E-10
2259-R5	Frecuencia pico (kHz)	1	6.15667E-20
	Frecuencia final (kHz)	1	6.1566E-20
	Frecuencia mínima (kHz)	1	6.36942E-20
	Frecuencia inicial (kHz)	1	6.1566E-20
	Frecuencia máxima (kHz)	1	6.19437E-20
	Duración (s)	1	1.6001E-08

Anexo B. Resultados estadísticos de Suma de Rangos (Wilcoxon) para cada evento en los tres métodos diferentes.

Tabla 11. Resultados prueba de Suma de Rangos (Wilcoxon) para cada evento de "Métodos anteriores".

Evento	Variable	Valor p	Valor z	Suma de rango
1917-R2	Frecuencia inicial (kHz)	0.20769441	1.25993057	110
	Frecuencia final (kHz)	0.03109294	-2.1558812	48
	Frecuencia máxima (kHz)	0.8010518	-0.2519861	82
	Frecuencia mínima (kHz)	0.59469586	-0.5320435	77
	Duración (s)	0.04099232	2.04360766	124
0934-R2	Frecuencia inicial (kHz)	0.04072899	2.04627839	1385
	Frecuencia final (kHz)	4.5426E-07	5.0446888	1753.5
	Frecuencia máxima (kHz)	0.07410944	-1.7859371	913
	Frecuencia mínima (kHz)	7.03E-08	5.39040263	1796
	Duración (s)	0.46812687	0.72553012	1210
2259-R4	Frecuencia inicial (kHz)	8.786E-07	-4.9170453	1143.5
	Frecuencia final (kHz)	0.87180155	-0.1613706	1895
	Frecuencia máxima (kHz)	5.6952E-06	-4.5373991	1203.5
	Frecuencia mínima (kHz)	0.12642911	-1.5283361	1679
	Duración (s)	0.00921517	-2.6039666	1509
2259-R5	Frecuencia inicial (kHz)	0.02930455	-2.1793652	699
	Frecuencia final (kHz)	0.42048968	-0.805572	751
	Frecuencia máxima (kHz)	0.00238389	-3.0377028	666.5
	Frecuencia mínima (kHz)	0.02227127	-2.2857094	695
	Duración (s)	0.16557934	-1.386549	729

Tabla 12. Resultados prueba de Suma de Rangos (Wilcoxon) para cada evento de "Método sin umbral".

Evento	Variable	Valor p	Valor z	Suma de rango
1917-R2	Frecuencia inicial (kHz)	0.13352993	1.50032619	98
	Frecuencia final (kHz)	0.03568869	-2.1004567	43
	Frecuencia máxima (kHz)	0.92032706	-0.1000217	73
	Frecuencia mínima (kHz)	0.57077315	-0.5669132	66
	Duración (s)	0.10239891	1.63333333	100
0934-R2	Frecuencia inicial (kHz)	0.04072899	2.04627839	1385
	Frecuencia final (kHz)	4.5426E-07	5.0446888	1753.5
	Frecuencia máxima (kHz)	0.07410944	-1.7859371	913
	Frecuencia mínima (kHz)	7.03E-08	5.39040263	1796
	Duración (s)	1.5671E-12	-7.0684138	267
2259-R4	Frecuencia inicial (kHz)	0.09709107	-1.6591227	192
	Frecuencia final (kHz)	0.56136031	-0.5808222	218
	Frecuencia máxima (kHz)	0.61863052	-0.4977922	220
	Frecuencia mínima (kHz)	0.29975837	-1.0369517	207
	Duración (s)	0.83570503	0.20739034	238
2259-R5	Frecuencia inicial (kHz)	0.01247154	-2.4985135	108
	Frecuencia final (kHz)	0.91349515	0.10863102	145
	Frecuencia máxima (kHz)	0.10310263	-1.6299947	120
	Frecuencia mínima (kHz)	0.0592947	-1.8860019	116.5
	Duración (s)	0.44700527	-0.7604172	132

Tabla 13. Resultados prueba de Suma de Rangos (Wilcoxon) para cada evento de "Método propuesto".

Evento	Variable	Valor p	Valor z	Suma de rango
1917-R2	Frecuencia pico (kHz)	0.96893005	-0.0389502	65
	Frecuencia inicial (kHz)	0.45941272	0.73981424	76
	Frecuencia final (kHz)	0.06723995	-1.8300668	42
	Frecuencia máxima (kHz)	1	0	66
	Frecuencia mínima (kHz)	0.72609516	-0.3503245	61
	Duración (s)	0.00723518	-2.6858214	31
0934-R2	Frecuencia pico (kHz)	0.5799141	0.5535102	254.5
	Frecuencia inicial (kHz)	0.46461015	-0.7312767	221
	Frecuencia final (kHz)	0.50155075	-0.6720518	222.5
	Frecuencia máxima (kHz)	0.52700594	0.63258308	256.5
	Frecuencia mínima (kHz)	0.14903888	-1.4429346	203
	Duración (s)	0.10939839	-1.6009031	199
2259-R4	Frecuencia pico (kHz)	0.30936662	-1.0165519	207.5
	Frecuencia inicial (kHz)	0.05639236	-1.9079911	186
	Frecuencia final (kHz)	0.83568701	0.20741341	238
	Frecuencia máxima (kHz)	0.29975837	-1.0369517	207
	Frecuencia mínima (kHz)	0.44282612	-0.7674296	213.5
	Duración (s)	0.43064799	-0.7880833	213
2259-R5	Frecuencia pico (kHz)	0.02378499	-2.2605847	135.5
	Frecuencia inicial (kHz)	0.01947793	-2.3362555	134.5
	Frecuencia final (kHz)	0.84568674	0.19462474	168
	Frecuencia máxima (kHz)	0.25881763	-1.1291901	150
	Frecuencia mínima (kHz)	0.7852571	-0.2724746	161
	Duración (s)	0.90703848	0.11677484	167

Anexo C. Diagramas de cajas y bigotes para los eventos en los que no hubo cambios estadísticos.

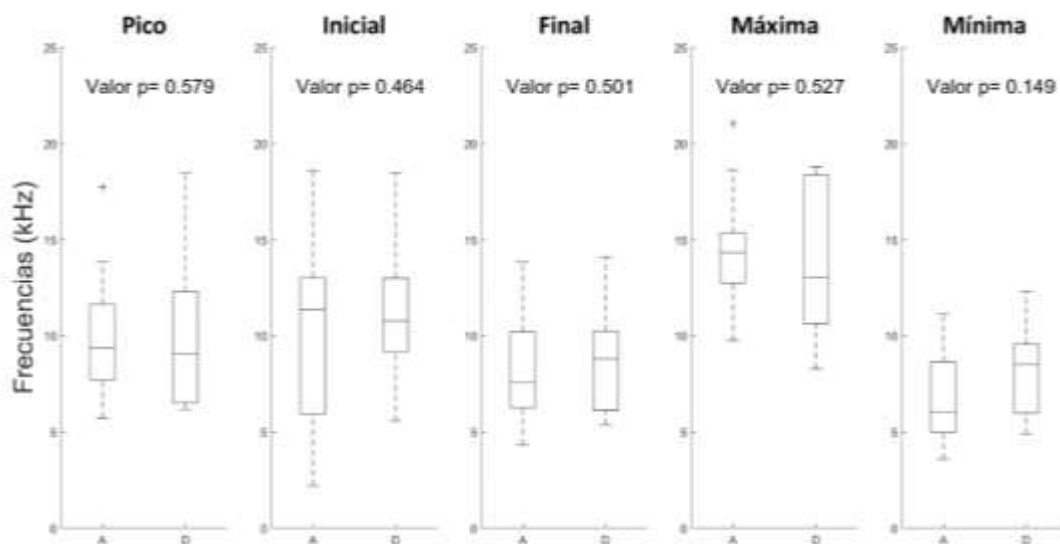


Figura 12. Diagrama de cajas y bigotes comparando antes (A) y después (D) para las frecuencias en el evento 0934-R2. Descrito el valor p para el estadístico Wilcoxon, con un 95% de confianza.

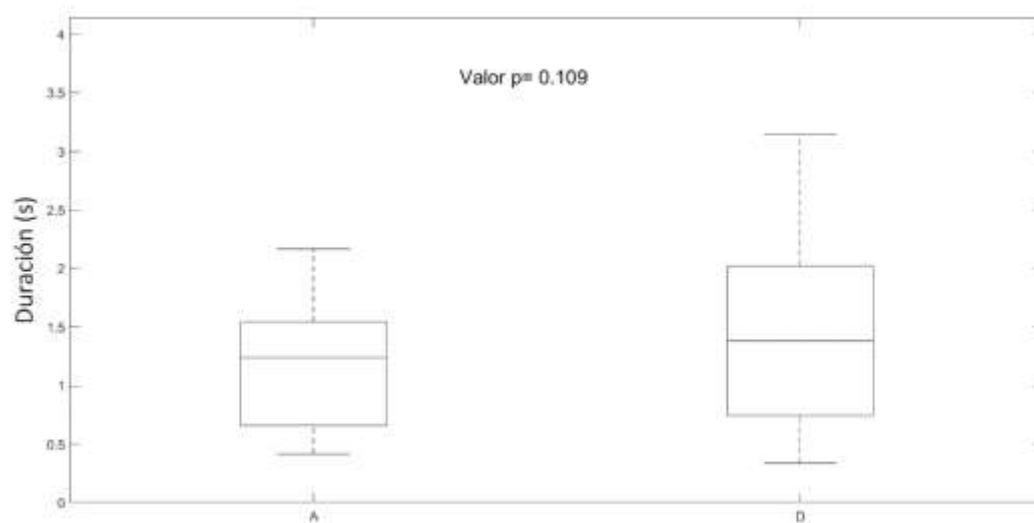


Figura 13. Diagrama de cajas y bigotes comparando antes (A) y después (D) para la duración en el evento 0934-R2. Descrito el valor p para el estadístico Wilcoxon, con un 95% de confianza.

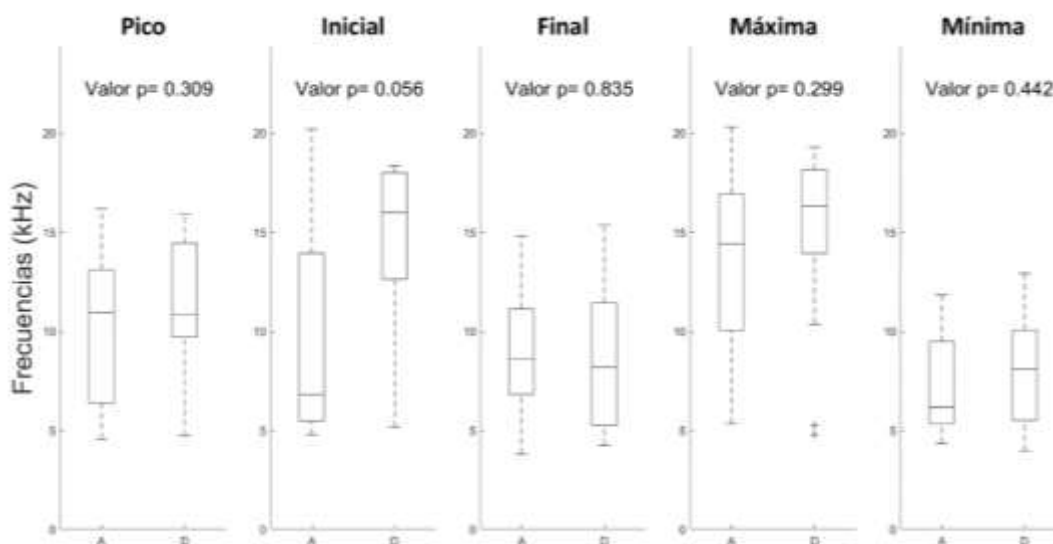


Figura 14. Diagrama de cajas y bigotes comparando antes (A) y después (D) para las frecuencias en el evento 2259-R4. Descrito el valor p para el estadístico Wilcoxon, con un 95% de confianza.

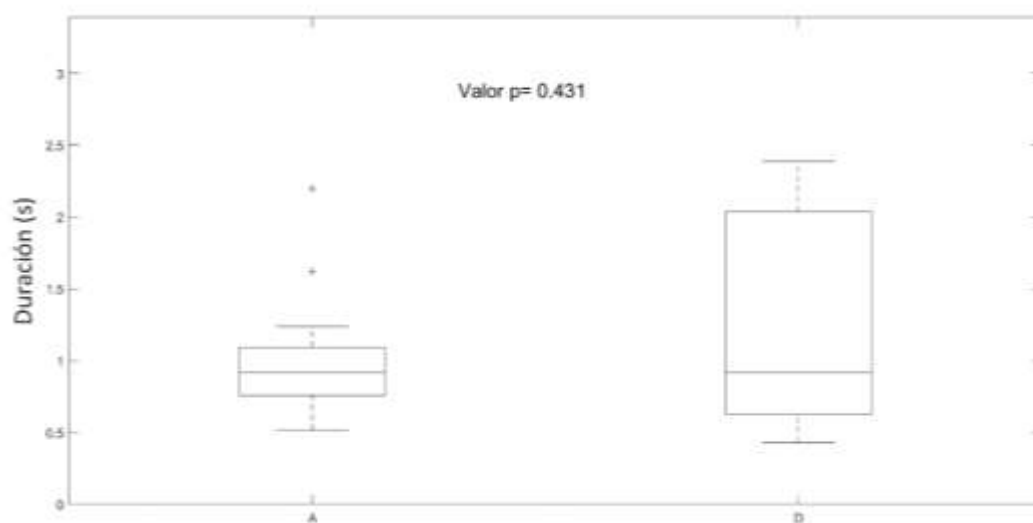


Figura 15. Diagrama de cajas y bigotes comparando antes (A) y después (D) para la duración en el evento 2259-R4. Descrito el valor p para el estadístico Wilcoxon, con un 95% de confianza.

Anexo D. Espectros en tercios de octava para los eventos que tuvieron menos de 21 silbidos en el Conjunto C.

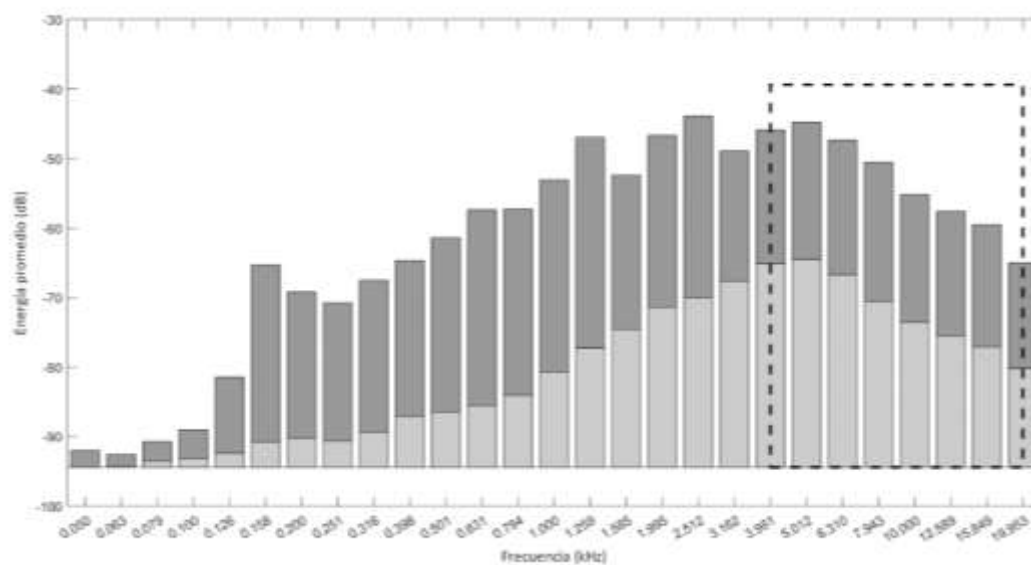


Figura 16. Espectro en tercios de octava para la embarcación 1542-RE353. En gris oscuro el sonido de la embarcación y en gris claro el ruido del fondo marino, ambas en dBV. La línea punteada indica las bandas en las que las toninas vocalizan.

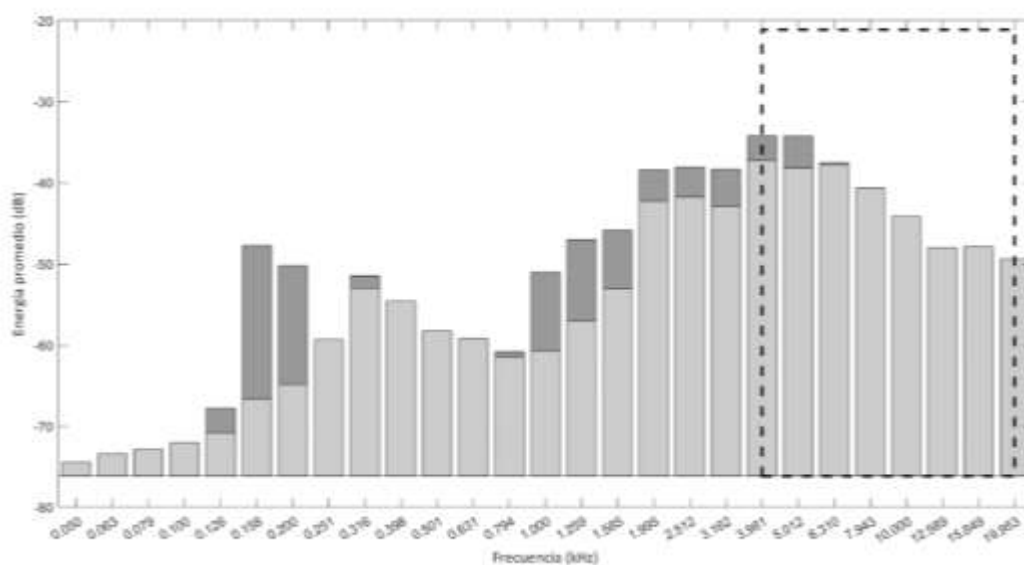


Figura 17. Espectro en tercios de octava para la embarcación 2259-R1. En gris oscuro el sonido de la embarcación y en gris claro el ruido del fondo marino, ambas en dBV. La línea punteada indica las bandas en las que las toninas vocalizan.

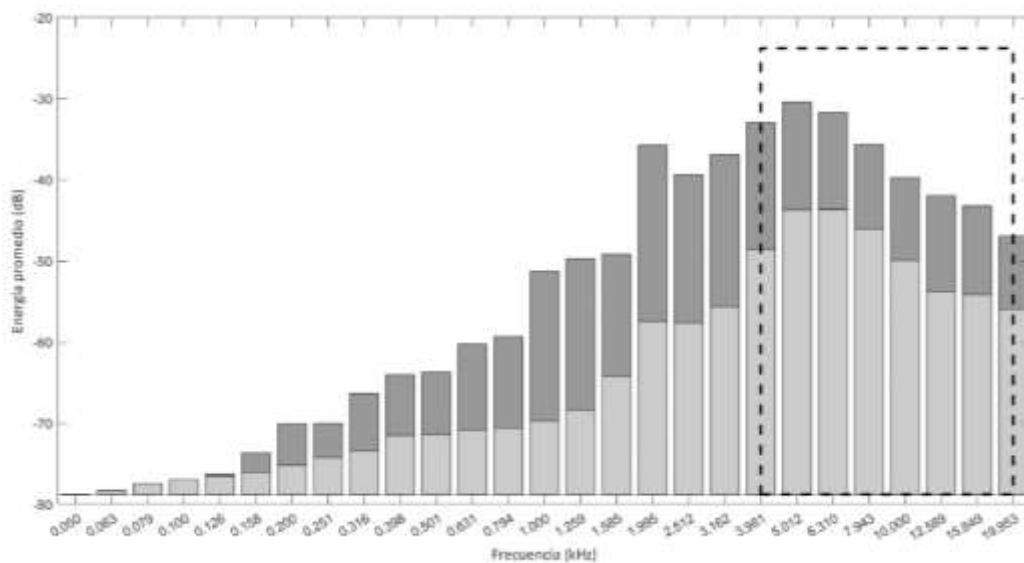


Figura 18. Espectro en tercios de tercios de octava de la embarcación 1317-R9. En gris oscuro el sonido de la embarcación y en gris claro el ruido del fondo marino, ambas en dBV. La línea punteada indica las bandas en las que las toninas vocalizan.

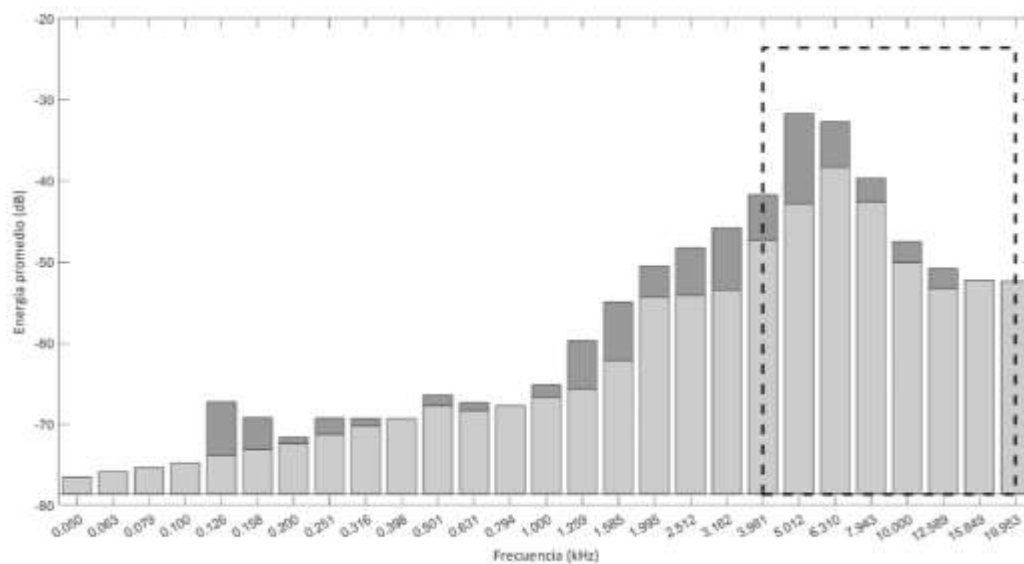


Figura 19. Espectro en tercios de octava para la embarcación 1917-R1. En gris oscuro el sonido de la embarcación y en gris claro el ruido del fondo marino, ambas en dBV. La línea punteada indica las bandas en las que las toninas vocalizan.

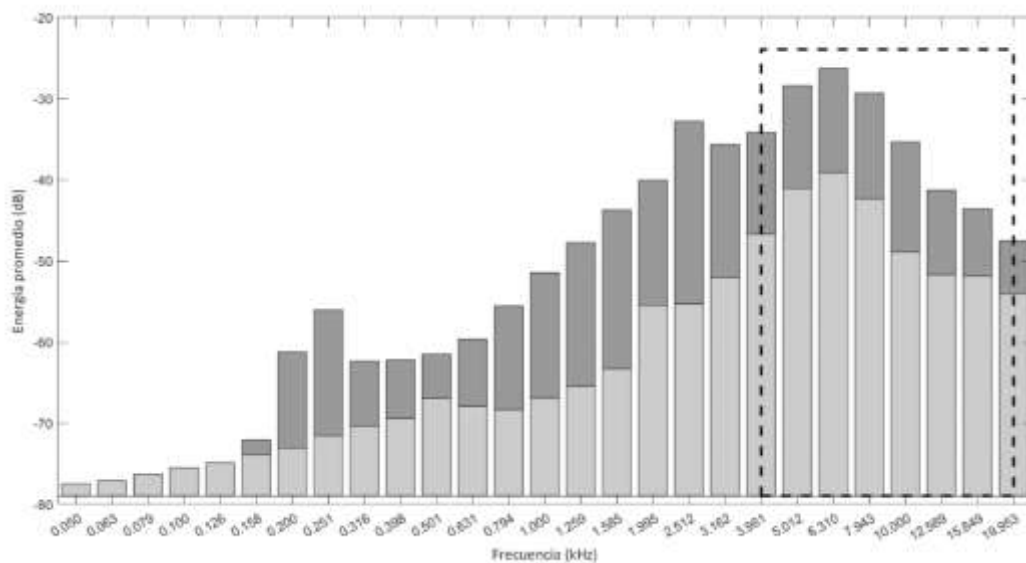


Figura 20. Espectro en tercios de octava para la embarcación 1232-R3. En gris oscuro el sonido de la embarcación y en gris claro el ruido del fondo marino, ambas en dBV. La línea punteada indica las bandas en las que las toninas vocalizan.

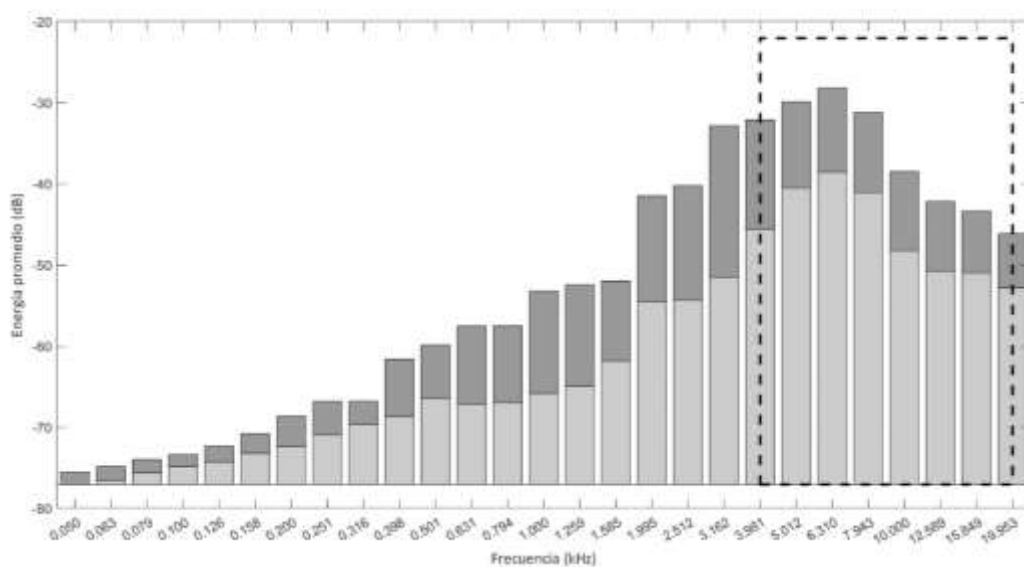


Figura 21. Espectro en tercios de octava para la embarcación 1232-R2. En gris oscuro el sonido de la embarcación y en gris claro el ruido del fondo marino, ambas en dBV. La línea punteada indica las bandas en las que las toninas vocalizan.