



UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA DE SANTA ELENA
FACULTAD CIENCIAS DEL MAR
CARRERA DE BIOLOGÍA

**ANÁLISIS TEMPORAL DEL CANTO Y ESTRUCTURA SOCIAL
DE BALLENAS JROBADAS (*Megaptera novaeangliae*) EN LA REMAPE.**

TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

Previo a la obtención del título de

BIÓLOGA

AUTORA

CUVI CUCALÓN KATHERINE DAYANA

TUTORA

BLGA. JODIE DARQUEA ARTEAGA, M.Sc

SANTA ELENA-ECUADOR

2023

UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA DE SANTA ELENA
FACULTAD CIENCIAS DEL MAR
CARRERA DE BIOLOGÍA

**ANÁLISIS TEMPORAL DEL CANTO Y ESTRUCTURA SOCIAL
DE BALLENAS JOROBADAS (*Megaptera novaeangliae*) EN LA REMAPE.**

TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

Previo a la obtención del título de

BIÓLOGA

AUTORA

CUVI CUCALÓN KATHERINE DAYANA

TUTORA

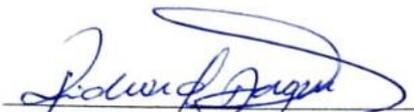
BLGA. JODIE DARQUEA ARTEAGA, M.Sc

SANTA ELENA-ECUADOR

2023

UPSE

TRIBUNAL DE GRADUACIÓN



Blgo. Richard Duque Marín, M.Sc.

Decano

Facultad de Ciencias del Mar



Ing. Jimmy Villón Moreno, M.Sc.

Director

Carrera de Biología



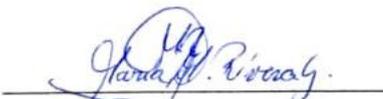
Blga. Jodie Darquea Arteaga, M. Sc

Docente Tutor



Blga. Erika Salavarría Palma, Ph.D.

Docente de Área



Ab. María Rivera González, Mgtr.

Secretaria General

DECLARACIÓN EXPRESA

La responsabilidad por lo datos, ideas y resultados expuestos en este trabajo de integración curricular, me corresponden exclusivamente, y el patrimonio intelectual de la misma y a la Universidad Estatal Península de Santa Elena.

Katherine Cuvi

Cuvi Cucalón Katherine Dayana

Cd: 2450810094

DEDICATORIA

Con mucho amor a mis padres Carlos Daniel Cuvi Muñoz y Martina Lucinda Cucalón González, por impulsarme y brindarme todo su apoyo incondicional durante estos años de estudio, y poder así cumplir mis objetivos, sin ellos no hubiera logrado esta meta.

De manera especial a Kevin Joel Tomalá quien siempre me motivo a seguir adelante inclusive en momentos y situaciones difíciles cuando parecía que me iba a rendir, ayudándome hasta donde sus alcances lo permitían.

A mis abuelos paternos Ricardo Cuvi y Rosa Muñoz, quienes me enseñaron que el camino de la vida es difícil pero no imposible y aunque ya no estén presentes en cuerpo, estarán siempre en mi corazón.

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios por haberme dado las fuerzas para seguir adelante y enfrentar cualquier obstáculo difícil de este capítulo de mi vida que está concluyendo.

A la Blga. Michelle Vela quien contribuyó en fase de recolección de datos, por su aporte y entrega total durante el desarrollo de este trabajo; al Blgo. Javier Oña por su tiempo, orientación y compartir todos sus aprendizajes y experiencias que ayudado a mejorar el resultado final. Sin ellos, esta investigación no hubiera sido posible.

A mi tutora Blga. Jodie Darque Arteaga, M. Sc por su excelencia en la formación de nuevos profesionales y orientación indispensable en el desarrollo de este trabajo.

A las autoridades y docentes que forman parte de la Universidad Estatal Península de Santa Elena, por orientarme a lo largo de mi formación académica a través sus experiencias y conocimientos.

Y a todas las personas que de una u otra forma me apoyaron en la realización de este trabajo.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE GENERAL	III
ÍNDICE DE FIGURAS.....	VII
ÍNDICE DE TABLAS.....	X
1. INTRODUCCIÓN	1
2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	7
3. JUSTIFICACIÓN	9
4. OBJETIVOS.....	10
4.1 OBJETIVO GENERAL.....	10
4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	10
5. HIPÓTESIS	11
6. MARCO TEÓRICO	12
6.1 CLASIFICACIÓN TAXONÓMICA DE LAS BALLENAS JROBADAS.....	12
6.2 MORFOLOGÍA Y FUNCIONES ESPECÍFICAS.	12
6.2.1 CARACTERÍSTICAS DE LAS ALETAS.....	12
6.2.2 CARACTERÍSTICAS DE LA PIEL.	13
6.2.3 CARACTERÍSTICAS DEL TAMAÑO Y LA GESTACIÓN. .	14
6.2.4 CARACTERÍSTICAS DE LA CABEZA.	15

6.2.5	CARACTERÍSTICA INTERNAS.....	16
6.2.6	ALIMENTACIÓN.	20
6.2.7	PATRÓN DE PIGMENTACIÓN.....	22
6.2.8	CONDUCTAS DE LAS BALLENAS JOROBADAS.....	24
6.3	MIGRACIÓN.	26
6.4	COMUNICACIÓN ACÚSTICA.....	28
6.4.1	ACÚSTICA EN MAMÍFEROS MARINOS.....	29
6.4.2	COMUNICACIÓN ACÚSTICA EN MISTICETOS.....	30
6.4.3	ESTRUCTURA Y FUNCIÓN DEL CANTO DE LAS BALLENAS JOROBADAS.	31
6.4.4	LAS ONDAS Y SUS PROPIEDADES.	33
6.5	SOFTWARE RAVEN PRO 1.6.	35
6.6	ESTRUCTURA Y ORGANIZACIÓN SOCIAL.....	37
7.	MARCO METODOLÓGICO	40
7.1	ÁREA DE ESTUDIO.	40
7.2	RECOLECCIÓN DE DATOS.	41
7.2.1	ACÚSTICO.....	41
7.2.2	ESTRUCTURA DEL GRUPO SOCIAL.	42
7.3	MÉTODO PARA EL ANÁLISIS DEL CANTO.....	44

7.4	MÉTODO PARA EL ANÁLISIS DE LA ESTRUCTURA SOCIAL.	
		47
8.	ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS.....	49
8.1	CLASIFICACIÓN DE LAS UNIDADES, FRASES, Y TEMAS DEL CANTO DE LAS BALLENAS JOROBADAS EN LA TEMPORADA DEL 2021.	49
8.1.1	UNIDADES QUE COMPONEN EL CANTO DE LAS BALLENAS JOROBADAS EN EL 2021.....	49
8.1.1	FRASES QUE COMPONEN EL CANTO DE LAS BALLENAS JOROBADAS EN EL 2021.	55
8.1.2	TEMAS QUE COMPONEN EL CANTO DE LAS BALLENAS JOROBADAS EN EL 2021.	59
8.2	CLASIFICACIÓN DE LAS UNIDADES, FRASES, Y TEMAS DEL CANTO DE LAS BALLENAS JOROBADAS EN LA TEMPORADA DEL 2022.	60
8.2.1	UNIDADES QUE COMPONEN EL CANTO DE LAS BALLENAS JOROBADAS EN EL 2022.....	60
8.2.2	FRASES QUE COMPONEN EL CANTO DE LAS BALLENAS JOROBADAS EN EL 2022.	67
8.2.3	TEMAS QUE COMPONEN EL CANTO DE LAS BALLENAS JOROBADAS EN EL 2022.	71

8.3	COMPARACIÓN DE LA ESTRUCTURA ACÚSTICA QUE COMPONEN LOS CANTOS DE LAS BALLENAS JOROBADAS ENTRE TEMPORADAS DEL 2021 Y 2022.	72
8.4	COMPOSICIÓN DE LOS GRUPOS SOCIALES REGISTRADOS EN LA TEMPORADA DEL 2022.	75
9.	DISCUSIÓN	78
10.	CONCLUSIONES.....	81
11.	RECOMENDACIONES.....	83
12.	BIBLIOGRAFÍA.....	84
13.	ANEXOS	98

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Forma de alimentación de la ballena jorobada, (A) redes de burbujas bajo la superficie, (B) aparición de la ballena a la superficie. Fuente: (Pérez, 2016)...	22
Figura 2. Ejemplos de patrones de la aleta caudal establecida por el color blanco al negro en Ballenas jorobadas. Fuente: (Svenja et al., 2019).	24
Figura 3. Comportamientos frecuentes en las ballenas: soplo, arco y péndulo, proyección de la aleta caudal, aleteo pectoral, levantamiento de cabeza. Fuente: (Puchet et al., 2012).	26
Figura 4. Rutas migratorias, zona de reproducción y alimentación de las ballenas jorobadas Fuente:.(Flórez et al., 2007).....	28
Figura 5. Estructura del canto de las ballenas, editado de Roger Payne & Scott McVay, 1971. Fuente: (De León et al., 2017).	33
Figura 6. Propiedades de una onda, frecuencia, amplitud, longitud y velocidad de propagación. Fuente:(Navae, 2005).	35
Figura 7. Oscilograma y espectrograma de canto de rana, <i>Hyloscirtus larinopygion</i> . Fuente: (Cervantes & Saura, 2022).....	37
Figura 8. Vista aérea satelital del área de estudio en la Reserva Marina El Pelado (REMAPE). Fuente: (Goyes et al., 2018).	40
Figura 9. Tipo de muestreo a distancia. a) muestreo de transecto lineal; b) muestreo de transecto puntual. Fuente: (Prieto et al., 2011).....	43
Figura 10. Etiquetado de unidades propuesto por Payne & Scott McVay. Fuente: (Deal & Rothenberg, 2015).....	45

Figura 11. Representación espectrográfica de la secuencia del canto de la ballena jorobada grabada en México 2006, (A) etiquetado de unidades individuales y a su vez forman un grupo de frases. (B) Secuencia de una parte del canto en el que se puede observar las frases repetidas y cada uno separados por líneas verticales. Fuente: (Cholewiak et al., 2013).	46
Figura 12. Dendrograma que muestra el análisis de agrupamiento de las unidades del 2021.	53
Figura 13. Biplot que describe el análisis de componentes principales del 2021.	55
Figura 14. Espectrograma de las cinco frases encontradas en el canto del 2021. Cada uno de estos fragmentos se repitieron consecutivamente. Frase 1 (BBP/I/I), frase 2 (O/I/O/I), frase 3 (I/A/A), frase 4 (A/A/A/A), frase 5 (C/C/I).	57
Figura 15. Dendrograma que muestra el análisis de agrupamiento de las unidades del 2022.	65
Figura 16. Biplot que describe el análisis de componentes principales del 2022.	67
Figura 17. Espectrograma de las seis frases encontradas en el canto del 2022. Cada uno de estos fragmentos se repitieron consecutivamente. Frase 1 (L/L/L), frase 2 (T/T/T), frase 3 (S/S/S/I), frase 4 (A/O/I), frase 5 (B/M/B/M), frase 6 (BBP/I/I).	69
Figura 18. Dendrograma que muestra la comparación de la estructura acústica que componen los cantos de las ballenas jorobadas entre temporadas del 2021 y 2022.	73
Figura 19. Comparación de las secuencias y agrupamiento de las unidades, frases y temas del canto de las ballenas jorobadas. a) temporada del 2021, b) temporada del 2022.	74

Figura 20. Porcentaje de las categorías de composición de grupos de ballenas jorobadas de la temporada 2022, grupos de 3 a 10 adultos (A), dos adultos (A2), adultos y subadultos solitarios (S), madre-cría (MC), madre-cría-escolta (MCE), madre-cría y más de un escolta (M+)..... 76

Figura 21. Puntos de distribución y tipos de agrupamientos de ballenas jorobadas cantando en la REMAPE en la temporada del 2022..... 77

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Registro acústico evaluado del 2021 y 2022.....	44
Tabla 2. Tipo de unidades identificadas en los espectrogramas que ofreció el programa Raven Pro 1.6 en el 2021.....	50
Tabla 3. Resumen de las medidas tomadas para cada unidad del 2021, (U) es el total por tipo de unidades identificadas, (D) duración, (FQMIN) frecuencia mínima, (FQC) frecuencia central, (FQMAX) frecuencia máxima, (BW) ancho de banda.	52
Tabla 4. Patrones que constituyeron el canto de las ballenas jorobadas en la temporada del 2021.....	58
Tabla 5. Resumen de las frases del 2021, n es el número de elementos medidos, DF duración de las frases, NUF el número de unidades encontradas en cada frase.	59
Tabla 6. Resumen de los temas del 2021, n es el número de elementos medidos, DT duración del tema, NF el número de frases encontradas en cada tema.	60
Tabla 7. Tipo de unidades identificadas en los espectrogramas que ofreció el programa Raven Pro 1.6 en el 2022.....	61
Tabla 8. Resumen de las medidas tomadas para cada unidad del 2022, (U) es el total por tipo de unidades identificadas, (D) duración, (FQMIN) frecuencia mínima, (FQC)frecuencia central, (FQMAX) frecuencia máxima, (BW) ancho de banda.	64
Tabla 9. Patrones que constituyeron el canto de las ballenas jorobadas en la temporada del 2022.....	70

Tabla 10. Resumen de las frases del 2022, **n** es el número de elementos medidos,
DF duración de las frases, **NUF** el número de unidades encontradas en cada frase.
..... 71

Tabla 11. Resumen de los temas del 2022, **n** es el número de elementos medidos,
DT duración del tema, **NF** el número de frases encontradas en cada tema. 72

ABREVIATURAS

- **REMAPE:** Reserva Marina el Pelado
- **HZ:** hercio o hertz
- **Cm:** Centímetros
- **kHz:** Kilohercio
- **m:** Metros
- **F:** Frecuencia
- **A:** Amplitud
- **λ :** Longitud de una onda
- **T:** Periodo
- **V:** Velocidad
- **MC:** Madre cría
- **S:** adulto y subadulto Solitario
- **MCE:** Madre- cría y escolta
- **M+:** Madre cría y más de dos escoltas
- **A2:** dos Adultos
- **SA:** Subadulto solitario
- **PCA:** Análisis de componentes principales

GLOSARIO

- **Bioacústica:** es una ciencia que ayuda a comprender el comportamiento comunicativo de todos los seres vivos.
- **Espiráculo:** Es un agujero que se encuentra en la parte superior de algunos animales y sirve como orificio respiratorio.
- **Raven pro 1.6:** Es una herramienta que permite abrir un archivo de sonido que se puede medir, visualizar y analizar a través de oscilogramas y espectrogramas.
- **Cortejo:** Es el ritual que realiza el macho para seducir a la hembra, con el fin de aparearse.
- **Hidrófono:** Se trata de un transductor que ayuda a escuchar diferentes tipos de sonidos dentro del agua, transformando las ondas sonoras en señales acústicas.
- **Ballenato:** es la especie más pequeña de las ballenas jorobadas.
- **Antropogénico:** se refiere a las acciones que proceden de los seres humanos y que afecta a la naturaleza.
- **Espectrograma:** Visualización de sonidos mostrados gráficamente que permiten medir el espectro y estructura de cualquier sonido.
- **Oscilograma:** Es una presentación visual de una onda de algún archivo de sonido.

ANÁLISIS TEMPORAL DEL CANTO Y ESTRUCTURA SOCIAL DE BALLENAS JOROBADAS (*Megaptera novaeangliae*) EN LA REMAPE.

Autor: Katherine Dayana Cuvi Cucalón

Tutor: Blga. Jodie Darquea Arteaga, M.Sc.

RESUMEN

Los cantos de las ballenas jorobadas son vocalizaciones complejas que al pasar el tiempo pueden variar, ya sea eliminando, repitiendo o evolucionando. Por lo que en el presente estudio se analizó la estructura general del canto de las ballenas jorobadas en las temporadas 2021 y 2022 en la Reserva Marina el Pelado. Se utilizó un hidrófono omnidireccional Cetacean Research modelo SQ26-08 para el monitoreo acústico y el software Raven Pro 1.6 para el análisis de los sonidos. De cada año se analizaron cuatro grabaciones, en el 2021 se identificaron cinco unidades y cinco frases, para el 2022 nueve unidades y siete frases. Las unidades I, BBP y A se conservaron durante los dos años. Siendo la unidad I la más frecuente en las temporadas del 2021 y 2022. Referente a los temas, cada año estuvo conformado por cuatro temas, pero con una estructura diferente, sin embargo, la frase BBPII fue la que se mantuvo en las dos temporadas en el canto de las ballenas jorobadas. En cuanto a la estructura social, a través de los muestreos a distancia se confirmó que el grupo de ballenas jorobadas mayormente avistado durante la temporada del 2022 fue el grupo de madres con crías.

Palabra claves: acústico, hidrófono, software, estructura, canto.

**TEMPORAL ANALYSIS OF THE SONG AND SOCIAL STRUCTURE OF
HUMPBACK WHALES (*Megaptera novaeangliae*) IN THE REMAPE.**

Author: Katherine Dayana Cuvi Cucalón
Tutor: Blga. Jodie Darquea Arteaga, M.Sc.

ABSTRACT

Humpback whale songs are complex vocalizations that can vary over time, either eliminating, repeating, or evolving. Therefore, in the present study, the general structure of the song of humpback whales was analyzed in the 2021 and 2022 seasons in the El Pelado Marine Reserve. A Cetacean Research model SQ26-08 omnidirectional hydrophone was used for acoustic monitoring, and Raven Pro 1.6 software for sound analysis. Four recordings from each year were analyzed; in 2021, five units and five phrases were identified, and by 2022 nine units and seven phrases. Units I, BBP and A were kept during the two years, unit I being the most frequent in the 2021 and 2022 seasons. Regarding the themes, each year consisted of four themes with a different structure. However, the phrase BBPII was the one that was maintained in the two seasons in the song of the humpback whales. Regarding the social structure, through distance sampling it was confirmed that the group of humpback whales most sighted during the 2022 season was the group of mothers with calves.

Keywords: acoustic, hydrophone, software, structure, song.

1. INTRODUCCIÓN

En el reino animal, la comunicación es un elemento primordial para las especies sociales que forman parte del planeta, donde la supervivencia depende de la capacidad que posee cada uno para producir y receptor información (Font & Carazo, 2009). Entre varias formas de comunicación podemos encontrar la visual, olfativa, química, táctiles y sonoras, que permiten el intercambio a través de señales (Vicente, 2021).

De esta manera, una rama de la biología que ha tomado auge en las investigaciones a nivel mundial es la bioacústica, ciencia que tiene como objetivo estudiar la emisión de sonidos que se da entre especies a través de señales acústicas, en el que se combinan la biología y la acústica. Siendo los grupos taxonómicos mayormente estudiados son las aves, insectos, reptiles, peces, anfibios y mamíferos marinos (D. Martínez et al., 2020).

Entre los mamíferos marinos se encuentran los cetáceos que se componen de dos subgrupos (Pedroza et al., 2018), los Odontoceti (cetáceos dentados) y Mysticeti (ballenas barbas). El primero grupo incluye a los delfines, que emplean señales vocales como silbidos, que lo utilizan para mantener comunicación entre individuos

y coordinar sus movimientos, por otro lado, están los chasquidos de ecolocalización, que les sirve para distinguir y localizar que objetos se encuentran frente a ellos (Bazúa, 2010). Por el contrario, los misticetos carecen de cuerdas vocales, por lo que la laringe que se encuentra paralelo al flujo del aire tiene pliegues en forma de U y genera vibraciones (Etcheverry, 2016). De este grupo, las más estudiadas en términos de comunicación son las ballenas jorobadas, que producen sonidos de bajas y altas frecuencias. Cuando el sonido es de baja frecuencia, la longitud de la onda es amplia y se utiliza específicamente para la comunicación a larga distancia.

Por el contrario, los sonidos de altas frecuencias, están conformados por ondas pequeñas que cuando son producidas, el receptor pierde información (Francisco, 2004). Estos sonidos de bajas y altas frecuencias emitidos por las ballenas jorobadas se transforman en complejos y repetitivos cantos que lo utilizan para comunicarse y transmitir información entre especies. Cabe destacar que son los machos quienes realizan estos cantos principalmente en invierno durante la fase de reproducción (González & Smith, 2014).

La primera descripción a nivel global del canto de las ballenas jorobadas fue dada por Payne y McVay (1971), detallándola como la repetición estructurada de rasgos sonoros. Al sonido continuo más corto del canto se le denominó "unidad", si varias

unidades se juntan forman una “frase”, y si las frases se repiten generalmente de 2 a 20 unidades en sucesión van a formar un “tema” y varios temas diferentes se combinan para establecer una “canción” (Tyarks et al., 2021).

Si bien el canto en cada población de ballenas jorobadas es único, este puede variar a lo largo del tiempo debido al intercambio de comunicación que ejecutan mientras migran (Barragán, 2019). Cada año todas las costas ecuatorianas reciben a las ballenas jorobadas que efectúan migraciones desde el área de alimentación, la Antártida, hacia tres grandes zonas, Pacífico Norte, Atlántico Norte y Hemisferio Sur, convirtiéndose en principales zonas de apareamiento y nacimiento de las crías en invierno (Jácome, 2017).

La población o stock G del Hemisferio Sur de ballenas jorobadas (*Megaptera novaeangliae*) inicia la migración desde el norte de Perú, cruzando por Ecuador, Colombia, Panamá y concluye en Costa Rica (Jácome, 2017). En Ecuador mediante un estudio realizado en las costas de Esmeraldas comprobaron que la fidelidad de sitio es alta, como resultado hallaron que la estructura del canto entre las temporadas de avistamiento del 2017 y 2018 fue similar y que solo tres de las unidades de los cantos se conservaron en las dos temporadas (Barragán, 2019).

De igual manera, más al sur de Esmeraldas, en la provincia de Santa Elena, se encuentra otro sitio, como es Ayangue, que se caracteriza por la presencia de corrientes cálidas y aguas tranquilas, de tal manera que se lo ha denominado “La piscina del pacífico” (Rojas, 2014). Es un lugar de atracción, principalmente porque cada año reciben un gran reflujo turístico destinado al avistamiento de las ballenas jorobadas. No obstante, el ruido y la presencia del excesivo número de embarcaciones ha repercutido en estas especies generándoles estrés (Romero, 2012).

Esto también resulta ocasionar alteraciones en la estructura del canto de las ballenas jorobadas, provocando que la duración de las unidades disminuya, por lo tanto, la estructura de las frases y temas cambian. Y, en algunos casos, ocasiona que las ballenas dejen de cantar, lo que limita la comunicación con las demás especies (Laute et al., 2022). Esto ocurre no solo en ballenas, sino que también en peces y otros animales marinos. De allí nace la importancia de realizar esta investigación con el fin de documentar como está conformado la estructura del canto actualmente de las ballenas jorobadas que transitan por la REMAPE.

Otro aspecto relevante de las ballenas jorobadas y el canto, es la estructura social, a través del canto estas especies se comunican y se orientan en el océano en búsqueda de pareja, lo que conlleva a la formación de diferentes grupos sociales (S.

Fernández, 2009). A pesar de que las agrupaciones de estos organismos son dinámicas, generalmente se pueden identificar algunas categorías. Entre los grupos más comunes se encuentran: los cantores, que son machos adultos solitarios que emiten secuencias altas y repetitivas de cantos por varias horas, en un solo lugar. Siendo este grupo de interés para este estudio porque al estar uno solo macho, la grabación de los cantos se escucha con mayor claridad (Betancourt & Herrera, 2006).

Otra categoría que es reconocible, son las hembras con crías recién nacidas que permanecen cerca de la cabeza o el hocico de la madre y, son las últimas en irse de las áreas de reproducción porque necesitan reforzar la capa de grasa a sus crías a través de su leche, para que puedan resistir la migración (De León et al., 2017). Asimismo, al grupo de madre cría y escolta, que tiene una compañía que no es el padre del ballenato, sino un macho que está a la espera de que la hembra entre en la época de celo durante el cual se encuentra receptiva sexualmente (Betancourt & Herrera, 2006).

Estas categorías en algunas ocasiones pueden ser fácilmente reconocibles y en otras, se requiere de un guía especializado para registrar los tipos de grupos sociales que se observa en el momento. Aunque estas asociaciones sean inestables, es conveniente el estudio de estos grupos, para evidenciar la estructura mayormente

avistada durante la temporada del 2022. Por lo que el objetivo de este estudio se basa en el análisis temporal del canto y estructura social de las ballenas jorobadas, en la Reserva Marina El Pelado.

2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Las ballenas jorobadas (*Megaptera novaeangliae*), son especies cosmopolitas de gran importancia para el desarrollo de los ecosistemas marinos (Nieto 2020). Cada año visitan las costas de Ecuador en los meses de junio a septiembre, siendo un sitio de paso la Reserva Marina El Pelado, área de manejo de la biodiversidad biológica, pero que también es explotado turísticamente, en especial cuando se realiza avistamiento de ballenas en el medio natural (Goyes et al., 2018).

Dado que en esta área no existe documentación del comportamiento acústico de estas especies, esta investigación serviría como base para futuras investigaciones que podrían determinar si existen cambios en los cantos de las ballenas a lo largo del tiempo o si la contaminación acústica producida por las actividades humanas está relacionada con estas variaciones.

Es necesario analizar los patrones acústicos del canto de las ballenas jorobadas que transitan en Ayangue, parte de la Reserva Marina El Pelado, porque el canto de estos cetáceos es único en cada población y juega un papel fundamental para la actividad reproductiva de los misticetos, no obstante, al pasar el tiempo la estructura del canto puede variar de una temporada a otra notablemente, ya sea eliminando,

repetiendo o evolucionando. Además, a través de la emisión del canto se comunican y forman complejos grupos sociales el cual se determina, dado que el tamaño de los grupos, que muchas veces puede ser cambiante e inestable.

3. JUSTIFICACIÓN

El estudio de la bioacústica en ballenas de manera general es relevante en la comprensión de producción de sonidos porque proporciona información útil sobre las clasificaciones de los tipos de cantos y/o sonidos que estas especies emiten, comprobando que hay diferentes vocalizaciones entre grupos poblacionales (Rosa et al., 2010).

En base a lo anterior, esta investigación tiene como finalidad obtener la estructura del canto de las ballenas jorobadas durante la temporada del 2021 y 2022, y determinar si existen cambios respecto a las unidades, frases y temas, usando métodos no invasivos que produzcan estrés a los individuos y a través de la comparación de la estructura generar información con soporte estadístico acerca de la variabilidad del canto.

Por otra parte, este estudio también determinará cuáles son los tipos de estructura social que forman estos mamíferos marinos al transitar por la zona de la REMAPE porque según estudios, los grupos sociales cambian debido a que algunas asociaciones son de corta duración, no obstante, exististe evidencia de que otras agrupaciones pueden ser estables por naturaleza.

4. OBJETIVOS

4.1 OBJETIVO GENERAL

Analizar los patrones acústicos del canto y estructura de grupos sociales de *Megaptera novaeangliae*, a través del programa Raven Pro 1.6 y muestreos a distancia.

4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Clasificar las unidades, frases y temas del canto de ballenas jorobadas mediante el uso de herramientas acústicas de la temporada 2021 y 2022.
- Comparar la estructura acústica que componen los cantos de las ballenas jorobadas registrados en la temporada 2021 y 2022 para la descripción de la variabilidad del canto.
- Establecer la estructura de los grupos sociales de las ballenas jorobadas de la temporada del 2022 mediante avistamientos.

5. HIPÓTESIS

H1: Los patrones acústicos de las ballenas jorobadas varían de una temporada a otra, y existen diferencias entre las estructuras sociales durante la época reproductiva del 2022 en el área de la Reserva Marina El Pelado.

Ho: Los patrones acústicos de las ballenas jorobadas no varían de una temporada a otra y no existen diferencias entre las estructuras sociales durante la época reproductiva del 2022 en el área de la Reserva Marina El Pelado.

6. MARCO TEÓRICO

6.1 CLASIFICACIÓN TAXONÓMICA DE LAS BALLENAS JOROBADAS.

La especie *Megaptera. novaeangliae* fue descrita por primera vez por el zoólogo Georg Heinrich Borowski en 1781, es la única que pertenece al género *Megaptera*, procede de dos palabras griegas “mega” que significan grande y “ptera” aletas grandes, haciendo referencia a las dos aletas pectorales que pueden alcanzar hasta un tercio de su cuerpo, son monoespecíficas, debido a que no se dividen en varias especies. El epítelo *novaeangliae* es la forma latinizada de Nueva Inglaterra que se asignó para describir a las especies que se encontraron frente a las costas (Vallejo et al., 2022). Pertenece a la familia *Balaenopteridae* conocidos comúnmente como rorcuales y al diverso suborden Mysticeti (García, 2019), cetáceos que en lugar de dientes poseen barbas donde filtran el agua y retienen alimentos (Flórez et al., 2007).

6.2 MORFOLOGÍA Y FUNCIONES ESPECÍFICAS.

6.2.1 CARACTERÍSTICAS DE LAS ALETAS.

Las aletas pectorales son largas y flexibles, miden de 4 a 5 metros de longitud, razón por la que se derivó el nombre del género, el color de las aletas pectorales son blancas por debajo, pero en la parte superior pueden ir cambiando a negras o moteadas (SEMARNAT, 2018). La aleta dorsal es clave para la identificación, se encuentra ubicada en el tercio trasero del dorso, en la parte superior, es pequeña y la forma varía de triangular, cuadrada, falcada o redondeada (Félix, 2015).

La parte ventral de la aleta caudal es musculosa, posee un patrón de color, en la parte superior es totalmente negro y en la parte inferior es blanca que al momento de levantar la aleta al aire durante una inmersión permite la identificación. Presenta características que lo distinguen de otros organismos como manchas, cicatrices y en la parte central de la aleta caudal tiene una escotadura mediana con prominencias irregularmente dentadas en el borde posterior (Svenja et al., 2019). Cabe destacar que la mayoría de las ballenas jorobadas en los bordes de las aletas pectorales, dorsal, caudal y cabeza presentan epibiontes como balanos (Medrano, 2002).

6.2.2 CARACTERÍSTICAS DE LA PIEL.

La piel de las ballenas jorobadas es de textura lisa y está conformado por tres capas epiteliales gruesas que varían de acuerdo con la edad, época del año o condición física en la que se encuentre. La epidermis es la primera capa que favorece la hidratación, por ser la parte externa contiene cicatrices y parches cubiertos por

crustáceos o parásitos que se adhieren a la piel, pero durante diferentes movimientos comunes de la especie como saltos y giros, permiten la limpieza del mismo (Nieto, 2020).

La dermis es la capa del tejido conectivo denso y vascularizado. El tejido adiposo o graso aísla el frío, reduce la pérdida de calor porque son lo suficientemente gruesos, aunque varían de 14 a 19 cm de ancho siendo las hembras quienes poseen más grasa que los machos (De León et al., 2017). La INECOL (2021), considera que la estructura de los ácidos grasos del tejido adiposo refleja lo que la ballena jorobada se alimenta, porque la composición es semejante a la de sus presas (Nieto, 2020).

6.2.3 CARACTERÍSTICAS DEL TAMAÑO Y LA GESTACIÓN.

Las ballenas jorobadas *bebes* al nacer miden entre 4 a 5 metros y pesan cerca de 1500 kilos, después de un año de ingerir la leche de la madre acumulan una capa gruesa de grasa para soportar las migraciones que realizaran hacia las zonas de alimentación (Medrano, 2002). El cuidado parental masculino está ausente, un subadulto llega a medir entre 7 a 11 metros, un adulto macho alcanzan una longitud de 15 metros y las hembras miden 19 metros siendo más largas que los machos, es decir que sí presentan dimorfismo sexual y pesan más de 50 toneladas aproximadamente (E. Fernández, 2011).

Al igual que los seres humanos las ballenas jorobadas son vivíparos, los neonatos se desarrollan dentro del útero, dando a luz cada dos o tres años a una cría y la gestación dura aproximadamente de 11 a 12 meses, la madurez sexual es a los 5 años de edad llegando a medir unos 11 a 12 metros de largo (Recalde, 2005).

En cuanto al apareamiento, las hembras emiten hormonas femeninas que según investigadores el olor llega hasta un kilómetro. Ovulan una sola vez por estación, lo que significa que el macho debe tener ciertas habilidades para conquistarlas, las cuales se basan en los saltos (Castro, 2008). De no ser lo suficientemente atractivo para la hembra, el macho se sumerge tomando una posición diferente, la cabeza apunta hacia el fondo del océano para llamar la atención y empieza a realizar melodiosos cantos (Francisco, 2004).

6.2.4 CARACTERÍSTICAS DE LA CABEZA.

La cabeza de una ballena jorobada vista dorsalmente es redonda, en la parte superior se encuentran las aberturas nasales o espiráculos y debajo de la piel tiene una capa gruesa de grasa (Rama, 2020). El espiráculo sirve para la respiración del animal, abre y cierra solo para tomar aire antes de irse al fondo del océano, luego expulsa el soplo en la superficie llegando a medir hasta 4 metros de altura un aire caliente y condensado (Svenja et al., 2019). La cabeza mide de un cuarto a un tercio de su longitud, la parte superior está cubierta por protuberancias o animales

microscópicos que habitan en la cabeza de la jorobada, no tiene cuello claramente diferenciado y el área craneal es el doble de ancho que del tamaño del pico (SEMARNAT, 2018).

6.2.5 CARACTERÍSTICA INTERNAS.

Las ballenas jorobadas poseen pliegues arteriovenosos en la pared dorsal, la función es almacenar calor por contracorriente, son de sangre caliente y se ha calculado que a medida que realiza una contracción el corazón bombea 1000 litros de sangre, incluso dentro del ventrículo podría caber una persona (Zeballos & Chang, 2015).

El corazón pesa casi dos toneladas y está dividido en cuatro cavidades o cámaras; la aurícula derecha que va a recibir la sangre no oxigenada de todo el organismo, luego se dirige hacia el ventrículo derecho donde bombea los pulmones produciendo un intercambio gaseoso (Szteren & Hernández, 2008). La auricular izquierda recibe la sangre oxigenada que desembocan las venas y el ventrículo izquierdo lleva la sangre oxigenada a todo el cuerpo (Reynolds, 2010). Gracias a medios químicos que se encuentran en la sangre, ahorran grandes cantidades de oxígeno, transformándolos en oxihemoglobina, permitiéndoles sumergirse durante extensos periodos de tiempo debajo del océano sin ningún problema (Vargas, 2016).

El aparato respiratorio al estar en funcionamiento es eficiente porque, cada vez que esta especie respira reemplaza el 80% del aire almacenado en los pulmones por aire nuevo, almacenando suficiente oxígeno en la sangre (Zeballos & Chang, 2015). Además, según estudios realizados los sonidos que emiten se debe a toda la presión del aire que pasa a través de varias válvulas, músculos y una serie de sacos ciegos que se dividen en las vías respiratorias (Flórez et al., 2007).

Dentro de la cavidad abdominal se encuentran órganos que cumplen funciones importantes, como el estómago que contiene múltiples divisiones, primero se encuentra cubierto por un epitelio escamoso, luego el estómago principal de mucosa plegada con glándulas gástricas, además un estómago pilórico liso sin pliegues el cual la función es la digestión (J. Díaz, 2015).

El hígado de los cetáceos es de dos caras, una anterosuperior y una posterior o visceral, la cara anterosuperior está dividida en el centro por una hendidura que separa al lóbulo derecho e izquierdo (Muniz & Regalado, 2021). Los riñones forman parte del sistema excretor, son lobulados, presentan corteza y cáliz, están especialmente adaptados para metabolizar el exceso de sal que se concentra en la orina, permitiéndoles nutrirse de agua marina que contiene presas isotónicas sin deshidratarse (Medrano, 2009).

El páncreas tiene una forma alargada y de consistencia firme, está vinculado con el intestino a través del conducto pancreático, el de los machos es de menor dimensión a diferencia del páncreas de las hembras que son de mayor dimensión (J. Díaz, 2015).

La anatomía del tracto reproductivo en machos y hembras está interiorizada, el pene se encuentra dentro del prepucio que es un pliegue que cubre la parte externa del pene, es fibroelástico y existen músculos retractores que hacen que el pene presente una flexura sigmoidea. Los testículos están dentro de la cavidad abdominal debajo de los riñones, son de forma cilíndrica y están formadas por túbulos seminíferos, el cual contiene células sustentaculares o denominadas también células de sertoli y las células intersticiales de layding que secretan la hormona masculina (S. Díaz & Lasso, 2014).

Los ojos de los cetáceos cumplen un papel fundamental para la orientación, navegación, coordinación de movimientos e identificación de congéneres, posee una fuerte musculatura que les ayuda a proteger de los daños que se pueden provocar al bucear. Está constituido por oculares masivos, esclerótica gruesa y la red vascular oftálmica que previene la pérdida de calor durante el buceo (Rodríguez et al., 2014).

No poseen orejas, pero si oídos externos pequeños que se encuentran detrás de los ojos, los oídos tienen un tapón de cera ubicado en el extremo proximal del conducto auditivo (Bello, 2018). Los oídos son muy sensibles a los tonos altos y están adaptados para detectar dichas frecuencias, sin embargo, muchas veces dentro del océano ponen en riesgo las adaptaciones de las ballenas debido a que cada vez existe más contaminación acústica (Zurita, 2015).

Respecto al sistema de ecolocalización, es de una amplia gama de sonidos con pulsos de banda ancha, que constituyen el biosonar de los cetáceos con diferentes componentes como frecuencia bajas (30 kHz), pasando a frecuencias altas (96 kHz), y por último a frecuencias muy altas (170 o más kHz); cabe destacar que han sido poco los registros de estos sonidos (Tellechea, 2016).

Los misticetos generan sonidos de baja frecuencia, sin embargo, viajan a través de todo el océano (Zurita, 2015), y la emisión de frecuencia de estos sonidos les permiten comunicarse, localizar presas, establecer la ruta de profundidades al que se dirigen y recibir el eco de los objetos, eliminando así la insuficiencia de los órganos visuales cuando se encuentra a grandes profundidades del mar donde la luz es escasa (Borbón & Rincón, 2008).

6.2.6 ALIMENTACIÓN.

Las ballenas jorobadas se alimentan en regiones polares durante el verano de altas latitudes para luego trasladarse hacia zonas de bajas latitudes, con el fin de reproducirse y criar a su ballenato en el invierno (Olavarría, 2008). Según investigaciones demuestran que estas especies son fieles al destino donde se alimentan (Cornejo & Chávez, 2014).

Se ha comprobado que esta fidelidad es dirigida por la madre, porque son quienes les enseñan a las crías las rutas migratorias y tras cumplir el primer año de vida vuelven a las mismas zonas donde se alimentaban ellas. Es por esta razón, que hasta entonces se han conservado las estructuras poblacionales únicas de cada región por la herencia de la fidelidad materna las zonas de sustento y rutas migratorias (Rojas, 2014).

Se alimenta de diferentes presas, muchas de ellas son ingeridas incidentalmente como peces, camarones *Eualus sp*, anfípodos pelágicos *Parathemisto sp*, larvas de langosta *Munidia gregaria*, entre otros (Nieto, 2020). Algunos estudios han demostrado que las ballenas tienen un alto porcentaje de comportamiento de alimentación por la mañana, luego disminuyen a lo largo del día hasta que se

alimentan nuevamente por la noche, consumiendo más de una tonelada de alimento por día (Poblete, 2014).

Las ballenas que se encuentran en el hemisferio sur, se alimentan de krill, una pequeña especie de crustáceo malacostráceo, los eufáusidos, que habita en aguas frías del Atlántico y del Pacífico. El krill mide aproximadamente entre 5 a 6 cm de longitud y el peso varía entre 2 a 3 g, siendo la longevidad hasta los seis años, la mayor parte del tiempo pasa en grupo, formando enormes cardúmenes de 30.000 ejemplares por m³ (Vásquez, 2016). También forma parte de los animales marinos más abundantes y contribuye en la cadena trófica del océano antártico, no solo es valiosa fuente de alimento para las ballenas jorobadas, sino que determinan los elementos dinámicos de todo el ecosistema antártico (Guerra, 2014).

Cabe destacar que las ballenas jorobadas tienen diferentes modalidades para capturar alimentos. Entre las más distinguidas se encuentran la red de burbujas o captura de burbujas (Figura 1), la cual consiste en la exhalación de aire formando una red y van nadando de forma vertical desde el fondo del mar hacia la superficie (Pérez, 2016), incluso algunos forman grupos para nadar en círculos y crear una red de burbujas, a medida que van realizando estos movimientos de manera organizada cada una va subiendo a la superficie (Poblete, 2014), engullendo grandes cantidades de agua que trae consigo el alimento de tal manera que, primero dilatan la garganta

por los pliegues ventrales que forman una grande bolsa para luego cerrar y botar toda el agua a través de las barbas (Cajuste & Salvador, 2010).

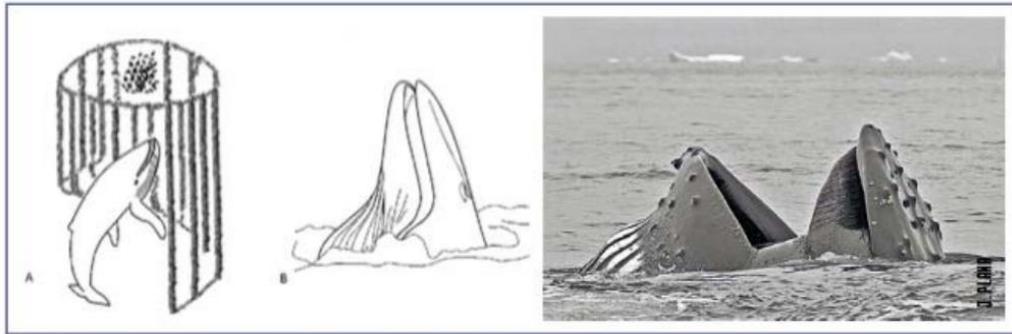


Figura 1. Forma de alimentación de la ballena jorobada, (A) redes de burbujas bajo la superficie, (B) aparición de la ballena a la superficie. Fuente: (Pérez, 2016).

Otro método de alimentación comúnmente empleado es el abalanzamiento que usan cuando el alimento se encuentra en abundancia, la ballena jorobada lleva la boca completamente abierta hacia la superficie nadando a una gran velocidad hasta tirarse sobre los cardúmenes (Muñoz & Molina, 2011). La perturbación a las presas es otro de los métodos; se mueven de un lado a otro dando aletazos con las aletas pectorales y coletazos hasta juntarlas; también está el tipo de alimentación en formación frontal y el uso de la superficie del agua que les ayuda que las presas eviten escaparse (Rojas, 2014).

6.2.7 PATRÓN DE PIGMENTACIÓN.

Las ballenas jorobadas poseen patrones de color en la región inferior de la aleta caudal, es específico en cada animal por lo que puede usarse para identificar individuos dentro de una población (Borroto et al., 2011).

Años atrás la única información de las ballenas era por la cacería, pero en 1964 el deslumbrante Rice realizó una investigación concluyendo que las ballenas tenían un patrón de coloración en la parte central de la aleta caudal (Cifuentes & Cupul, 2014). Se empleó la fotoidentificación uno de los métodos que ayuda a la captura de imágenes tomando de base la aleta caudal de las ballenas jorobadas y a través de la identificación conocer las rutas migratorias, estimar el tamaño mínimo del grupo poblacional, distinguiéndolo mediante las formas de la hendidura central, líneas, manchas o cicatrices que diferencian a cada organismo, como si fueran huellas digitales .

Es por eso que actualmente existen cinco patrones de colores de aleta caudal (Figura 2), la primera que va de la aleta totalmente blanca sin división, la segunda tiene en el medio una franja negra, el tercer patrón es mitad blanca y mitad negra más ancha, el cuarto el 75% de la aleta es mayormente negro, y el último patrón es completamente negro con poca tonalidad en las puntas de color blanco (Svenja et al., 2019).

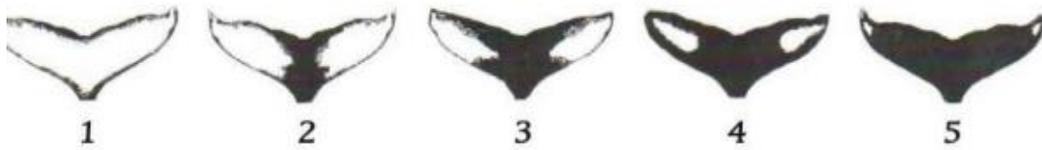


Figura 2. Ejemplos de patrones de la aleta caudal establecida por el color blanco al negro en Ballenas jorobadas. Fuente: (Svenja et al., 2019).

6.2.8 CONDUCTAS DE LAS BALLENAS JOROBADAS.

Al igual que los seres humanos o cualquier ser vivo, estos organismos desarrollan cierto tipo de conducta para expresar algún estado de ánimo o para comunicarse; de acuerdo con esto las conductas al pasar el tiempo se han ido clasificando (Betancourt & Herrera, 2006), entre estas se encuentran (Figura 3):

- **Soplo:** cuando las ballenas respiran emiten un gran soplo, pero lo que expulsan no es un chorro de agua, sino más bien dióxido de carbono y vapor del agua en forma de aerosol, que por la fuerza que posee se convierten en gotas de agua, esto puede permanecer en el tracto superior entrando y saliendo como un lavado respiratorio (Vidal, 2021).
- **Arqueo:** se da en la última respiración, en la superficie las ballenas arquean la espalda al sumergirse, de allí nace el término jorobada, este lo realizan para alcanzar más fuerza y tener una mayor profundidad (S. Martínez, 2008).

- **Cola arriba:** las ballenas jorobadas poseen una cola bilobulada que es el órgano propulsor, les permite realizar el movimiento del arqueo, al sumergirse profundamente elevando la aleta al aire (Zuñiga, 2016), luego se pueden apreciar los patrones de coloración que tiene cada una de las ballenas (Reynolds, 2010).
- **Aleteo pectoral:** según investigaciones las aletas pectorales también las usan para impulsarse al salir a la superficie, es común observar que al girar choquen las aletas pectorales o al ponerse de espaldas choquen ambas aletas (Puchet et al., 2012).
- **Levantamiento de cabeza:** también denominado espionaje, es cuando la ballena saca la cabeza a la superficie a la altura de los orificios auditivos, en crías se demoran de 1.9+/-0.7 segundos y en adultos de 3.9+/-1.6 segundos (Correa, 2014).
- **Salto:** la jorobada se impulsa con gran fuerza hacia la superficie exponiendo todo el cuerpo o la mitad, incluso hay momentos que da un giro de 180° (Ávila et al., 2001), además expresan que los saltos de algunas ballenas tienen como fin desprenderse de molestos inquilinos que se encuentran adheridos en el cuerpo (Betancourt & Herrera, 2006).

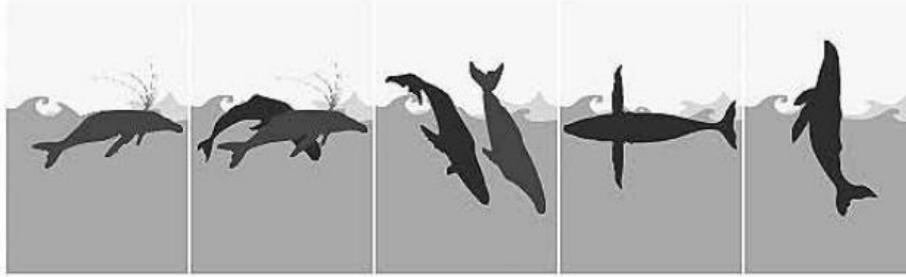


Figura 3. Comportamientos frecuentes en las ballenas: soplo, arco y péndulo, proyección de la aleta caudal, aleteo pectoral, levantamiento de cabeza. Fuente: (Puchet et al., 2012).

6.3 MIGRACIÓN.

Las ballenas jorobadas migran desde el área de alimentación en la Antártida y se desplazan hacia diferentes lugares (Figura 4) dependiendo de la especie, como zonas subpolares, tropicales o templadas (Rodríguez, 2004). A medida que realizan las migraciones su mantenimiento corporal va a depender de las reservas energéticas almacenadas, debido a que es rara la vez en que estas especies se alimenten en áreas de reproducción o durante el recorrido de migración (Guevara, 2018). Las rutas más conocidas a nivel mundial son:

La Antártida, una de las zonas donde existe gran abundancia de krill, alimento principal para las ballenas jorobadas. Existen siete stocks reproductivos que están representados por letras de la 'A' a la 'G' unos se dirigen hacia las partes más cercanas el hemisferio sur y otros grupos al hemisferio norte (Chanabá, 2020).

En el hemisferio sur van hacia las costas brasileñas, otras al Atlántico medio Africano sin pasar por Ecuador. Otro grupo al océano indico, por el este de Australia, existe un grupo que realiza un trayecto más extenso que es el que pasa por el pacífico oriental y se dirigen a las costas de Ecuador, Perú y Colombia (Rodríguez, 2004). Cabe destacar que en esta zona del hemisferio sur la mayor densidad de especies se encuentra en el noreste de México como también Baja California, incluso la zona costera que va hasta Centroamérica y el golfo de California (Félix, 2015).

En el Pacífico Norte, las ballenas jorobadas en los meses de verano se nutren en diferentes lugares como el mar de Bering, el golfo de Alaska, al sur de la isla de Honshu que se encuentra en Japón, entre otros. En la temporada de reproducción, estas especies se concentran en tres regiones distintas, el Pacífico Noroccidental (Bonin, Taiwán, Ryukyu y las Islas Marianas); en el Pacífico Central que va alrededor de las islas de Hawái, desde Kauai a Hawái, el Pacífico Nororiental y mexicano (Frisch, 2014).

Existen evidencia de que algunas de las especies sobrepasan el límite, o las que van al Pacífico norte no llegan en la temporada, sino que se van quedando en partes del hemisferio sur (D. Ortiz et al., 2012). Es fundamental recalcar que las poblaciones que se encuentran en el hemisferio sur y el hemisferio norte están desplazados

temporalmente por seis meses, por lo que las poblaciones no interactúan entre sí (Frisch, 2014).

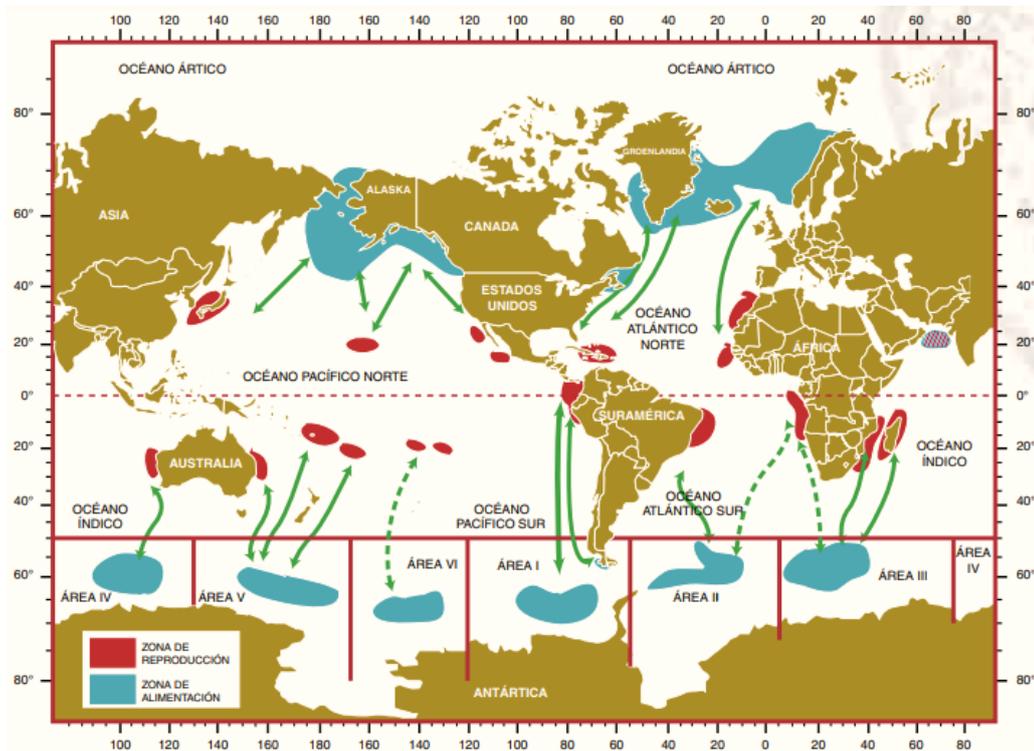


Figura 4. Rutas migratorias, zona de reproducción y alimentación de las ballenas jorobadas

Fuente:.(Flórez et al., 2007).

6.4 COMUNICACIÓN ACÚSTICA.

El término acústica hace referencia al estudio del sonido, en particular la generación, almacenamiento, propagación, y recepción, en este sentido se trata de la transmisión de ondas sonoras bien sea en estado sólido, líquido y gaseoso, resaltando que no se propaga en el vacío (S. Martínez, 2008).

Actualmente, se ha convertido en una herramienta ampliamente difundida en el reino animal por la facilidad de intercambio de señales, estudiarlo ha permitido acceder a la dimensión analítica de las interacciones sociales, además de que por este medio de comunicación se puede transmitir mucha información, puesto que viaja a través de todas las direcciones y el receptor consigue localizarlo con facilidad aunque también existen barreras físicas que afectan que no llegue este tipo de comunicación al objetivo (Martin & Trejo, 2017). Los sonidos se dividen en altas y bajas frecuencias, la primera posee una longitud de onda pequeña que al momento de emitirse se va perdiendo la información por parte del emisor hacia el receptor, por el contrario, el sonido de baja frecuencia la longitud de la onda es amplia y es específicamente utilizado para la comunicación a larga distancia (Francisco, 2004).

6.4.1 ACÚSTICA EN MAMÍFEROS MARINOS.

Dentro del océano marino existen varios sonidos de origen biológico, que gracias a las características que presenta el océano, se pueden transmitir en diferentes zonas. Muchos de estos son utilizados para localizar a las presas, comunicarse con su grupo o reconocer el entorno donde se encuentran (Dovgan, 2014). Los mamíferos marinos tienen varias formas de reproducir sonidos, incluso a través de diferentes investigaciones, se ha determinado que los sonidos en algunas especies no son totalmente acústicas, como es el caso de los semiacuáticos pinnípedos, dentro de este grupo están los leones marinos que por medio del cartílago obstruyen el canal

auditivo (Cervantes & Saura, 2022); las morsas y focas producen sonidos mediante la laringe, la fricción se da en los sacos faríngeos o los dientes (Francisco, 2004).

En especies como ballenas y delfines ha sido difícil reconocer la forma en la que los sonidos se propagan, pero al pasar el tiempo se identificó que en el caso de los delfines producen silbidos, clics, sonidos pulsados y tonales (Rama, 2020), y las ballenas emiten sonidos de baja frecuencias que van de 20 kHz y 60 kHz a través de cantos, gemidos de baja frecuencia y “knocks” o “thumps” cortos (Tellechea, 2016).

Es de gran importancia saber que la acústica ha sido clave para obtener registros de los mamíferos marinos, puesto que es más fácil y rápido tener información en el agua que en el aire, porque los sonidos viajan a mayor velocidad dentro del océano (Mandujano, 2012). Aunque cumplen un rol sumamente fundamental en la configuración de la estructura de los ecosistemas marinos (Aguilar & Ochoa, 2022), se ha visto afectado actualmente por la contaminación acústica derivada de las actividades humanas como el tráfico marítimo, navegación con motores de alta intensidad, explosiones submarinas (A. Sánchez & Sancho, 2006).

6.4.2 COMUNICACIÓN ACÚSTICA EN MISTICETOS.

Los misticetos carecen de dientes dentro de la mandíbula superior tienen placas de queratina denominada barbas que cuelgan. En relación con la emisión de sonidos ha sido complicado evaluarlo, debido al gran tamaño y la inexistencia de cautividad de las especies obstaculizando el estudio. Sin embargo, se sabe que poseen bajas frecuencias; el rango es de 5 y 14 kHz que pueden viajar a grandes distancias porque hay menor pérdida de absorción de agua (S. Díaz, 2022). No obstante, no se sabe con exactitud como producen los sonidos los misticetos, pero gracias a los sonidos asociados a actividades sociales de diferentes especies se ha captado que existen algunos sonidos muy vocales, por ejemplo en jorobadas que fueron denominados por Payne y McVay en 1971 como una estructura compleja de cantos (Francisco, 2004).

6.4.3 ESTRUCTURA Y FUNCIÓN DEL CANTO DE LAS BALLENAS JOROBADAS.

En cuanto a la estructura de una canción se considera que va a estar constituida por frases y una duración de 7 a 30 min, los investigadores que se dedican completamente a estudiar los sonidos de los animales siguen un enfoque analítico que se extrae de la tecnología de la información o denominada también la matemática de la comunicación (Cabestrero, 2021).

En ballenas jorobadas la estructura del canto evoluciona con el tiempo, estos cambios suelen darse en la frecuencia de las unidades vocales y la inserción o desaparición de determinadas frases o temas, tanto dentro de la misma época de apareamiento o en otras temporadas (Francisco, 2004). Sin embargo, se desconoce porque se da el cambio o conserva el canto al pasar el tiempo, lo que indica que otros grupos poblacionales exhiben comportamientos diferentes entre sí, estableciendo distintos patrones culturales (Barragán, 2019).

Fueron muchos estudios los que se realizaron, pero en 1969, Roger y Katy Payne reportaron los primeros sonidos que derivaban de las ballenas jorobadas. Años después, Payne y Mcvay en 1971 publicaron un artículo donde se describía la estructura jerárquica del canto de las ballenas, desde ese entonces han aumentado las investigaciones sobre la complejidad, la función y el patrón del canto de las jorobadas (Cholewiak et al., 2013).

La estructura del canto de las ballenas se compone de un conjunto de elementos, el primero es la complejidad y longitud denominada unidades que duran entre 5 a 30 segundos (Figura 5), las frases se forman por la secuencia de 2 a 20 unidades, y duran de 20 a 40 segundos, a su vez las frases forman un tema que duran de 5 a 30 min y por último se define la canción que es la combinación de los temas (Roy, 2020). Una canción puede tener de 4 a 12 temas y la duración variar de 5 a 30 min,

sin embargo, los organismos pueden seguir y repetir el canto hasta por más de 48 horas, con la frecuencia variante y alrededor de 20 Hz (Frankel, 2009).

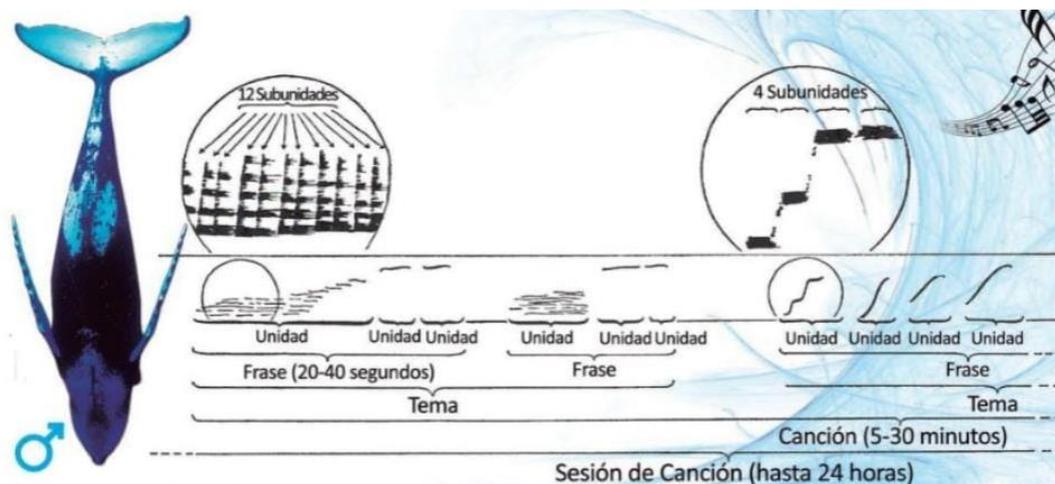


Figura 5. Estructura del canto de las ballenas, editado de Roger Payne & Scott McVay, 1971.

Fuente: (De León et al., 2017).

6.4.4 LAS ONDAS Y SUS PROPIEDADES.

Una onda se trata del sonido que se propaga en el medio siempre y cuando exista una variación de presión en aquel lugar (Cavalcante et al., 2013). Cabe destacar que una onda se convierte en una perturbación que se desplaza en dirección opuesta, un ejemplo sencillo es aquel en el que el momento en que se lanza una piedra en el centro de un estanque, se puede observar lo que sucede, es decir en la superficie se forman pequeñas ondulaciones que se van propagando en todo el agua en formas

de círculos causando una perturbación, hasta que poco a poco va desapareciendo (Gómez, 2008).

Al propagarse una onda en un medio la propiedad física es energía (Welti, 2002), existen diferentes medios en el que una onda pueda propagarse tales como agua, aire y suelo (Francisco, 2004). Cada onda va a estar formado por:

- **Frecuencia (F):** en acústica se refiere al número de ciclos o repeticiones de una onda por segundo, expresado en unidades de Hertz (Hz), donde el Hertz equivalen a un ciclo por segundo (M. Ortiz, 2010).
- **Amplitud (A):** se trata de la cantidad de presión sonora que ejerce la vibración y determina la cantidad de energía o potencia acústica que tiene una señal sonora (De Los Ríos, 2010).

En este sentido, una onda de gran amplitud transporta una gran cantidad de energía y una onda de baja amplitud transporta poca cantidad de energía, entonces a medida que aumenta la onda sonora mayor será la intensidad del sonido (Figura 6), además es la diferencia entre la altura máxima o mínima que tiene una onda (Mendoza, 2014).

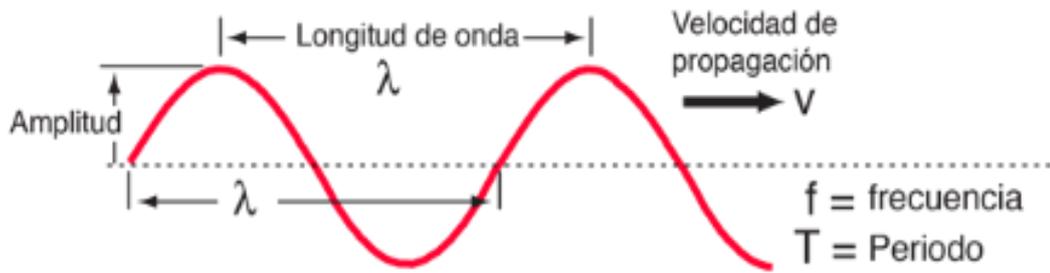


Figura 6. Propiedades de una onda, frecuencia, amplitud, longitud y velocidad de propagación.

Fuente:(Navae, 2005).

- **La longitud de una onda (λ):** se trata de la distancia que hay entre dos puntos de la onda que oscila en fase (Figura 6), se mide en la parte baja del plano o en la más alta (Marchigiani et al., 2015).
- **Intensidad:** si la amplitud de una onda aumenta la intensidad del sonido va a extenderse, de tal manera que ayudará a distinguir cuando un sonido es débil o fuerte (N. Sánchez & Rodríguez, 2022).
- **Periodo (T):** es el tiempo en el que dura para formar una onda completa.
- **Velocidad de propagación (V):** se trata de la rapidez en la que se propaga la onda y la dirección a la que se dirige.

6.5 SOFTWARE RAVEN PRO 1.6.

El software Raven fue desarrollado por K. Lisa Yang Center de Conservation Bioacoustics Cornell Lab of Ornithology. Es. una herramienta utiliza por investigadores y personas que se dedican a trabajar con señales acústicas porque la interfaz es fácil de usar. Además ofrece versiones con descuento para estudiantes y licencias totalmente gratuitas para algunos países (Buitrago et al., 2022). Este programa permite al usuario medir, visualizar y analizar sonidos (Lecorchick, 2022), existen dos tipos de representaciones el oscilograma y el espectrograma (Figura 7).

El primero presenta en el eje (y) la amplitud y el tiempo de la señal acústica registrada en el eje (x) (Buitrago et al., 2022). El segundo es el espectrograma que está representado mediante un gráfico de 2 dimensiones (2D), en el eje (y) se muestra la información de la evolución de la frecuencia de la onda de sonido, en el eje (x) el tiempo de la grabación y por medio de un sistema de colores se puede visualizar la intensidad o potencia del sonido, los colores que van de azul y negro representan una intensidad de energía baja y los colores más claros e intensos, como el amarillo y rojo que significan mayor energía (Pineda, 2021).

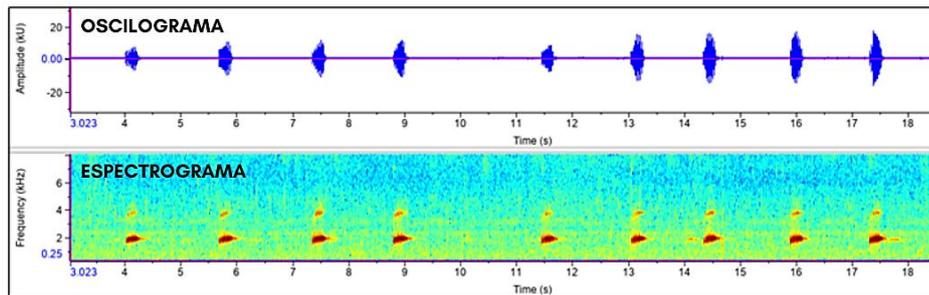


Figura 7. Oscilograma y espectrograma de canto de rana, *Hyloscirtus larinopygion*. Fuente: (Cervantes & Saura, 2022).

6.6 ESTRUCTURA Y ORGANIZACIÓN SOCIAL.

Las ballenas jorobadas realizan las migraciones hacia diferentes zonas formando grupos temporales para alimentarse y aparearse (Capella & Flórez, 1999). Las zonas donde hay más alimentación es donde se han observado grandes grupos, pero esto no indica que tienen una estructura específica, sino que expresa el mismo interés por la abundancia de presas locales y los grupos pequeños e inestables parecen dominar en los estudios de las ballenas (S. Fernández, 2009).

La mayoría de los grupos son inestables, pero existe evidencia de que algunas especies de ballenas se dirigen hacia el mismo lugar de temporadas pasadas, lo que significa que existen grupos más estables que pueden cooperar en la naturaleza para beneficio mutuo (Muñoz & Molina, 2011). Existen diferentes categorías de grupos sociales entre las más comunes se encuentran:

- **Ballenas solitarias:** la mayor parte de las hembras pasan acompañas, entonces si se observa una ballena sola se asume que se trata de un macho podría ser juvenil o adulto (Betancourt & Herrera, 2006).
- **Parejas de adultos:** se trata de un macho y una hembra, común en las áreas de reproducción, cabe destacar que es poco frecuente apreciar agrupaciones de hembras durante la temporada (González & Smith, 2014), no son estables solo se unen por un día o más, lo que permite que las hembras se unan a otros machos. A las parejas de ballenas jorobadas les gusta estar sumergidas por varios periodos de tiempo que van de 20 a 30 minutos o más (Andriolo et al., 2014).
- **Madre y ballenato:** esta unión en cambio se mantiene constante a lo largo de la temporada y puede durar incluso un año o más, este grupo tiene como preferencia zonas menos profundas de 20 m (Flórez et al., 2007). Cuando están en la superficie del océano la madre y cría revolotean juntos (Díaz & Lasso, 2014).

Las madres son las que guían a las crías hacia aguas tranquilas y poco profundas, donde no hay poca interacción con los adultos, en estas zonas las crías aprenden a saltar, regularizar la flotabilidad y recibir leche de la madre, asimismo la madre busca un lugar seguro para reducir el consumo de energía y aumentar la producción de leche (S. Fernández, 2009).

- **Madre, cría y escolta:** a través de pruebas genéticas que se han realizado demuestran que, la mayoría de escoltas que acompañan a la madre no son los padres de la cría y el vínculo que los une es de otra naturaleza (Betancourt, 2013). Se cree que los escoltas que se encuentran cerca de las hembras que están dando de lactar es porque tienen más posibilidad de aparearse y durar varias horas junto a la hembra (S. Fernández, 2009).
- **Grupo competitivo:** se conforma por varios machos adultos que compiten por la oportunidad de aparear a una hembra madura que muchas veces está acompañada de una cría (Rojas, 2014). Una característica distintiva son las vocalizaciones submarinas amplias y agudas, que se considera que son hechas por machos y que a menudo se escuchan cuando llegan nuevas ballenas (Betancourt & Herrera, 2006). Estos grupos se forman para lograr llamar la atención de las hembras en el cortejo (Espinosa, 2015).

7. MARCO METODOLÓGICO

7.1 ÁREA DE ESTUDIO.

El presente estudio fue realizado en la costa ecuatoriana, provincia de Santa Elena, en la Reserva Marina El Pelado (REMAPE), en las coordenadas geográficas UTM 523487.37E 9786340.05S. Sitio que se caracteriza por ser un hábitat y refugio de diversas especies. Además, forma parte de uno los múltiples lugares donde se reproducen las ballenas jorobadas (Goyes et al., 2018). El área de monitoreo de este estudio abarcó las líneas costeras de Ayangue, San Pedro, Palmar y Valdivia (Figura 8).

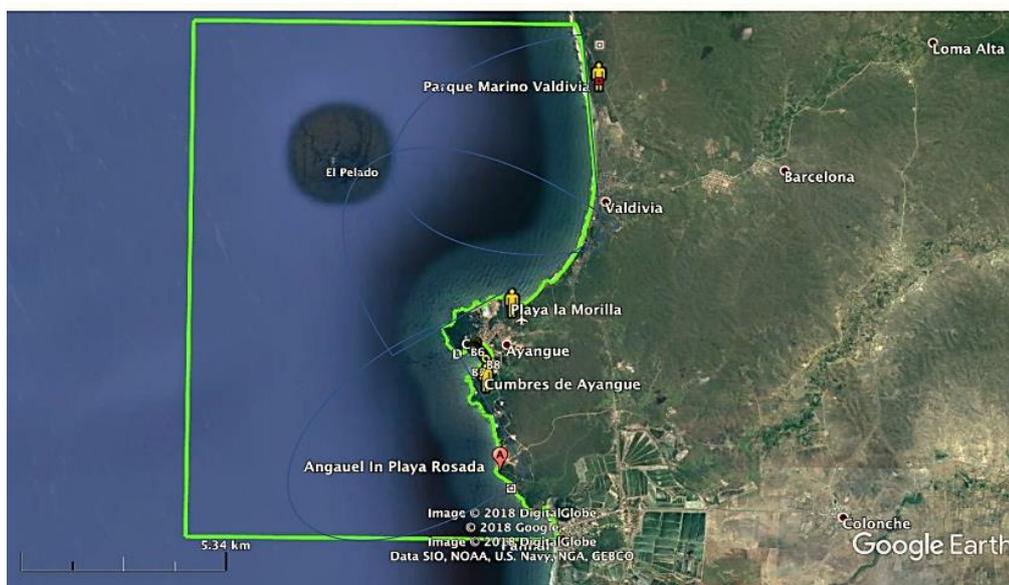


Figura 8. Vista aérea satelital del área de estudio en la Reserva Marina El Pelado (REMAPE).

Fuente: (Goyes et al., 2018).

7.2 RECOLECCIÓN DE DATOS.

7.2.1 ACÚSTICO.

Los muestreos se realizaron en los meses de junio a septiembre durante la temporada de ballenas jorobadas en el 2021 y 2022, completando un total de 30 salidas de campo cada jornada con duración entre 2 a 4 horas. Para los recorridos, se utilizó la aplicación Avenza Maps que permitió en el dispositivo móvil localizar la ubicación (coordenadas geográficas) en tiempo real para así, abarcar diversos puntos del área protegida, evitando recorrer zonas ya transitadas.

Los monitoreos se realizaron principalmente en la mañana en embarcaciones de fibra de vidrio con motores fuera de borda de 25 a 40 HP, y fueron dirigidos por pescadores locales, en ocasiones se contó con la colaboración del Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica (MAATE), hacia las zonas de tránsito de las ballenas.

Los datos acústicos fueron tomados gracias a la colaboración del Proyecto CATACEA Ecuador, que proporcionó un hidrófono omnidireccional Cetacean Research modelo SQ26-08 que abarcó un rango de frecuencia 0.020 a 45 kHz (Godo et al., 2014). Una vez localizados los grupos de ballenas jorobadas, la

embarcación se ubicó a 100 m de distancia (para el cumplimiento del protocolo de avistamiento, establecido en el Acuerdo Ministerial No. 20140004, publicado en el Registro Oficial 278 el 30-jun-2014). Continuando con el proceso del registro de los cantos, se procedió a apagar el motor de la embarcación para sumergir el hidrófono a una profundidad aproximadamente de 8 a 10 metros (Ross et al., 2022), y grabar de forma continua los sonidos biológicos de los organismos de la zona (Tyarks et al., 2021). A pesar de que se trata durante este proceso evitar cualquier transferencia acústica del sonido, el hidrófono suele captar el ruido de los motores encendidos a lo lejos, por lo que se consideró para este estudio elegir los audios que en el espectrograma mostraron los sonidos con mayor claridad, evitando aquellos que contenían sonidos de fondo o había más de un cantante, debido a que dificulta la interpretación de las mismas.

Durante el recorrido, junto con los datos acústicos se registró la fecha, hora de la grabación, nombre de la embarcación, latitud y longitud, tipo de hidrófono y profundidad del hidrófono.

7.2.2 ESTRUCTURA DEL GRUPO SOCIAL.

Para la recolección de datos de la estructura social de las ballenas jorobadas, se localizaron a los organismos por medio de muestreos a distancia (Distance Sampling), que es una extensión del método de muestreo cuadrático (quadrat

sampling) en el océano. Siguiendo el protocolo de recorrido de un trayecto lineal (Figura 9, a), o permanencia en un punto fijo (Figura 9, b) a una distancia de 100 m del cetáceo (Prieto et al., 2011).

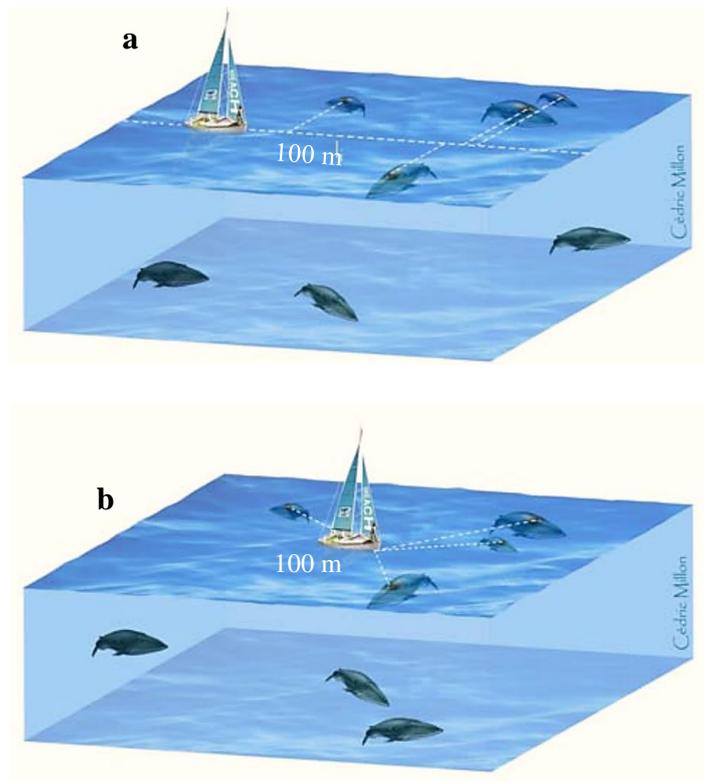


Figura 9. Tipo de muestreo a distancia. a) muestreo de transecto lineal; b) muestreo de transecto puntual. Fuente: (Prieto et al., 2011).

Se tomaron en cuenta solo aquellos grupos de ballenas que estaban dentro de un radio de observación de 100 m (S. Fernández, 2009). Se registró la fecha, el tamaño y composición del grupo social que estuviera a una distancia visible, hora de observación y el rango. En cuanto a la madurez sexual del organismo, no fue posible determinarlo, incluso conociendo que las hembras adultas son más grandes que los machos relativamente.

7.3 MÉTODO PARA EL ANÁLISIS DEL CANTO.

Solo se consideraron para el análisis del canto de las ballenas jorobadas las grabaciones que tuvieron una duración entre 15 a 30 minutos, escogiéndose las grabaciones que contenían mayor cantidad de tiempo para garantizar una selección completa de un canto, y descartando aquellas que no poseían una buena calidad de grabación debido a ruidos adicionales captados del ambiente. Es así que, para el desarrollo de este estudio, se eligieron los mejores 4 audios de cada año (Tabla 1), y posteriormente se digitalizaron manualmente a través del programa Raven Pro 1.6.

Tabla 1. Registro acústico evaluado del 2021 y 2022.

Año	Fecha	Hidrófono	Código del audio	Código del número de grabación	Tiempo de análisis
2021	13/07/2021	Cetacean Research SQ 26-31	HW_13-07- 21_13'_24	210713- 124916	13:27
	30/09/2021	Cetacean Research SQ 26-63	HW_30-09- 21_40'_56	210930- 113137	40:19
	07/10/2021	Cetacean Research SQ 26-65	W_30-09- 21_36'_58	210930- 142831	36:29
	15/10/2021	Cetacean Research SQ 26-67	HW_15-10- 21_30'_62	211015- 130504	30:02
2022	10/07/2022	Cetacean Research SQ 26-08	HW_10-07- 22_10'_08	100722- 113439	11:03

	20/07/2022	Cetacean Research SQ 26-08	HW_20-07- 22_15'_10	200722- 101642	15:00
	23/07/2022	Cetacean Research SQ 26-08	HW_23-07- 22_60'_13	230722- 095300	50:18
	16/09/2022	Cetacean Research SQ 26-08	HW_16-09- 22_30'_28	160922- 123657	31:01

El marco mediante el cual se definió la estructura jerárquica de los sonidos fue a través el modelo propuesto por Payne & Scott McVay (1971). Etiquetándose en los espectrogramas los sonidos más cortos denominados unidades (Deal & Rothenberg, 2015) (Figura 10).

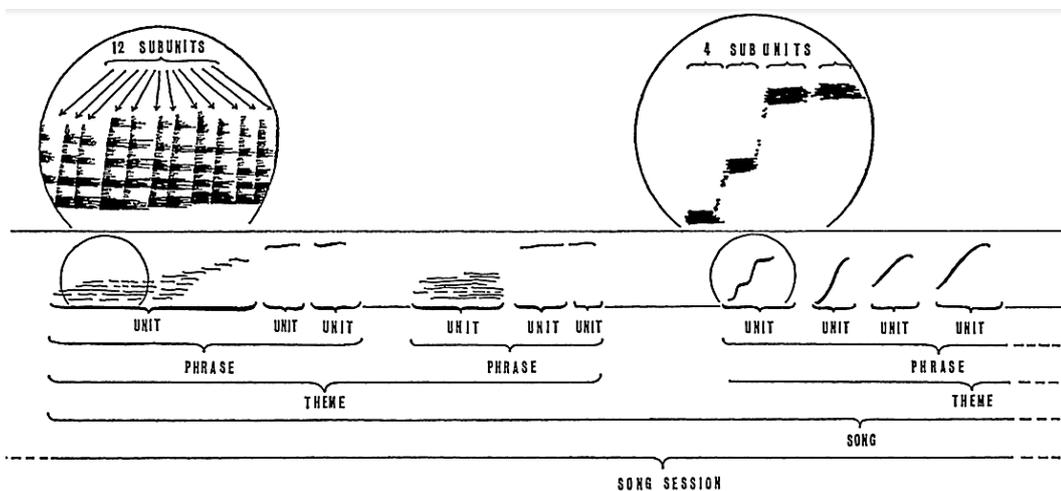


Figura 10. Etiquetado de unidades propuesto por Payne & Scott McVay. Fuente: (Deal & Rothenberg, 2015).

Seguido de las frases que estaban formadas por una o más secuencias de unidades (Figura 11) (las frases consecutivas podían tener diferentes números de unidades

sin dejar de identificarse dentro de una misma secuencia repetida). Cabe señalar que en otras especies muchas veces las réplicas son inexactas, pero en ballenas jorobadas son más estables y con coeficientes de variación bajas (Cholewiak et al., 2013). Por último, fueron etiquetados los temas (grupo de frases similares dispuestas en una secuencia).

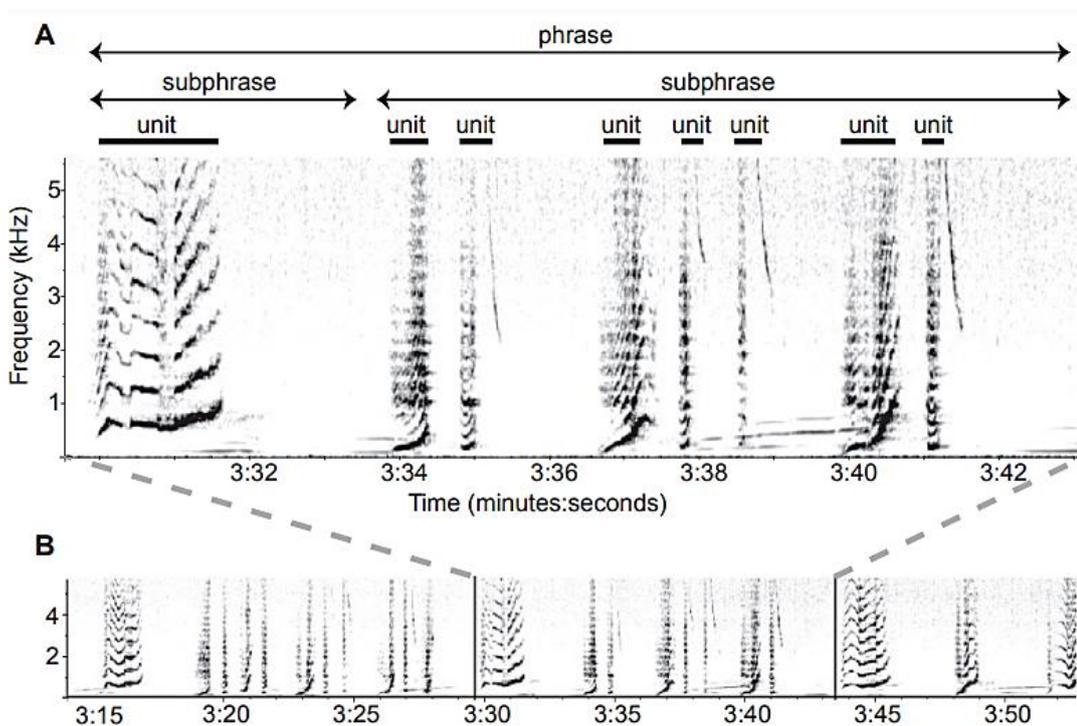


Figura 11. Representación espectrográfica de la secuencia del canto de la ballena jorobada grabada en México 2006, (A) etiquetado de unidades individuales y a su vez forman un grupo de frases. (B) Secuencia de una parte del canto en el que se puede observar las frases repetidas y cada uno separados por líneas verticales. Fuente: (Cholewiak et al., 2013).

Una vez etiquetadas todas las unidades, frases y temas en los espectrogramas, del software se tomaron las medidas de: duración (D), frecuencia mínima (FQMIN), frecuencia central (FQC), frecuencia máxima (FQMAX) y ancho de banda (BW)

para cada uno de los sonidos. Con el conjunto de datos de las medidas anteriormente mencionadas, se calculó la mediana del conjunto de valores y la desviación estándar mediante el software Minitab. El primero permitió adquirir la tendencia central del conjunto de datos, y el segundo la medida del grado de dispersión de los datos con respecto al valor promedio.

Se realizaron análisis de clúster, técnica exploratoria que consistió en establecer de forma jerárquica el grado de similitud de las medidas tomadas de cada una de los sonidos a partir del índice de Jaccard, empleando el software Past versión 4.03; adicional se utilizó el software Rstudio desktop 22.02.0+443 para generar un análisis de componente principal (PCA), con el fin de simplificar el gran número de datos cuantitativos que se obtuvieron y de esta manera identificar las variables que se encontraban relacionadas entre sí, y cuáles son las variables que influyeron en la clasificación de las unidades.

7.4 MÉTODO PARA EL ANÁLISIS DE LA ESTRUCTURA SOCIAL.

En primer lugar, se clasificaron los grupos a base de la organización social que se registró durante los avistamientos: dos adultos (A2), de 3 a 10 adultos(A), adultos y subadultos solitarios (S), madre-cría (MC), madre-cría-escolta (MCE), madre-cría y más de un escolta (M+). Y, a través del software Minitab se calculó el porcentaje de los grupos sociales de ballenas jorobadas avistadas durante la

temporada del 2022, y se determinó el tipo de grupo social que más transitó por la Reserva Marina El Pelado. Además, se registró por medio del software Quantum GIS o QGIS versión 3.30.3 los avistamientos en coordenadas geográficas de los diferentes grupos sociales. También, se representaron en el mapa los grupos sociales de ballenas jorobadas que se tomaron en consideración para la descripción del canto de las ballenas jorobadas de la temporada 2022.

8. ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

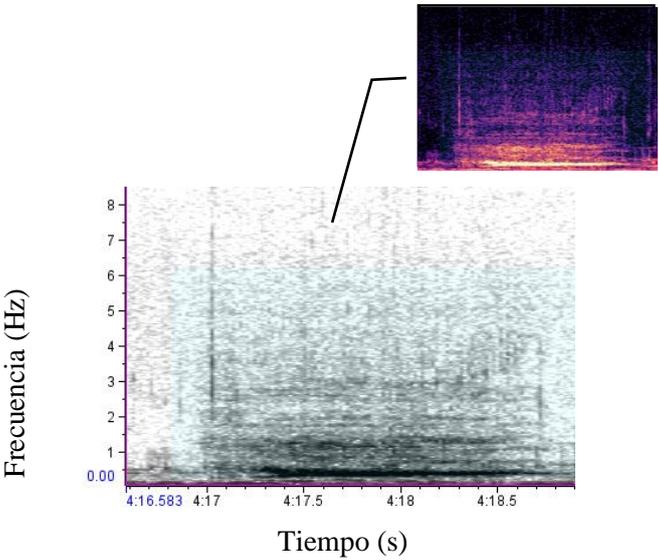
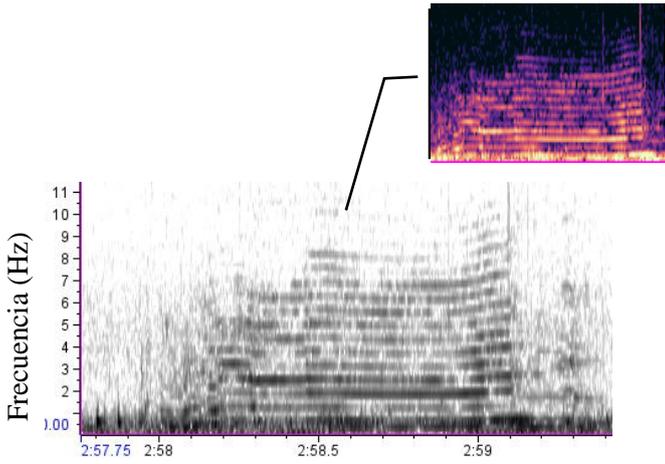
8.1 CLASIFICACIÓN DE LAS UNIDADES, FRASES, Y TEMAS DEL CANTO DE LAS BALLENAS JOROBADAS EN LA TEMPORADA DEL 2021.

En el periodo 2021, se analizó un total de 119 minutos con 77 segundos de grabación, de los cuales se etiquetaron todas las unidades, frases y temas, estableciéndose la estructura de los cantos por medio del programa Raven Pro 1.6.

8.1.1 UNIDADES QUE COMPONEN EL CANTO DE LAS BALLENAS JOROBADAS EN EL 2021.

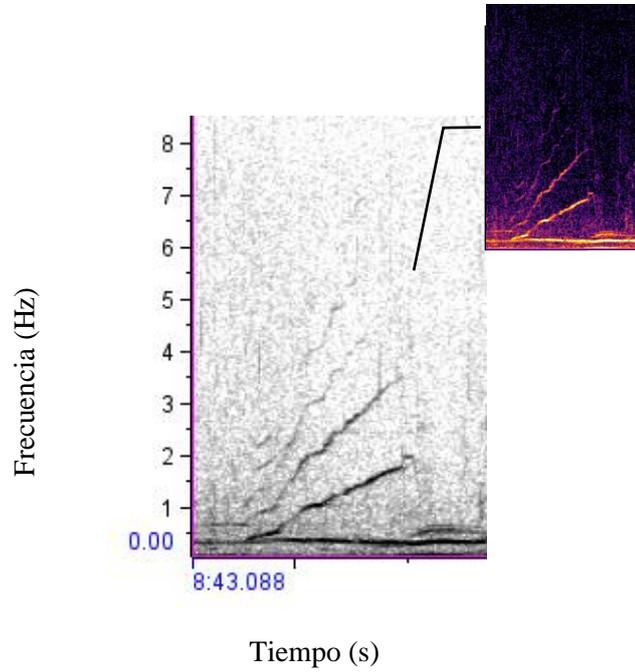
Los tipos de unidades encontradas en el canto de las ballenas jorobadas fueron cinco, las cuales se clasificaron como: Pulso de banda ancha (BBP), Lineal (C), Maullido (A), Up (I) y Onda (O) (Tabla 2).

Tabla 2. Tipo de unidades identificadas en los espectrogramas que ofreció el programa Raven Pro 1.6 en el 2021.

2021	
Tipo de unidad	Figura
<p style="text-align: center;">Pulso de banda ancha (BBP)</p> <p>-Rango de frecuencia: 100 a 1000 HZ.</p> <p>-Tiempo de duración: 1.3 segundos.</p>	 <p style="text-align: center;">Tiempo (s)</p>
<p style="text-align: center;">Lineal (C)</p> <p>-Rango de frecuencia: 100 a 400 HZ.</p> <p>-Tiempo de duración: 0.8 segundos.</p>	 <p style="text-align: center;">Tiempo (s)</p>

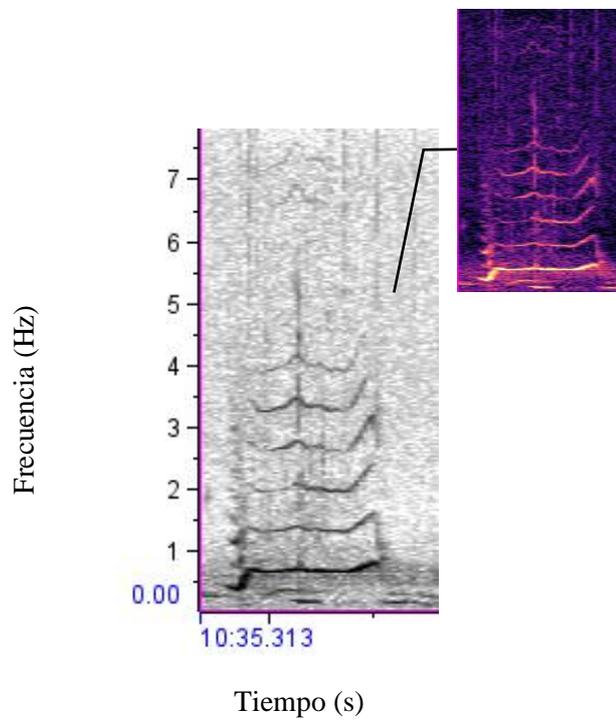
Maulido (A)

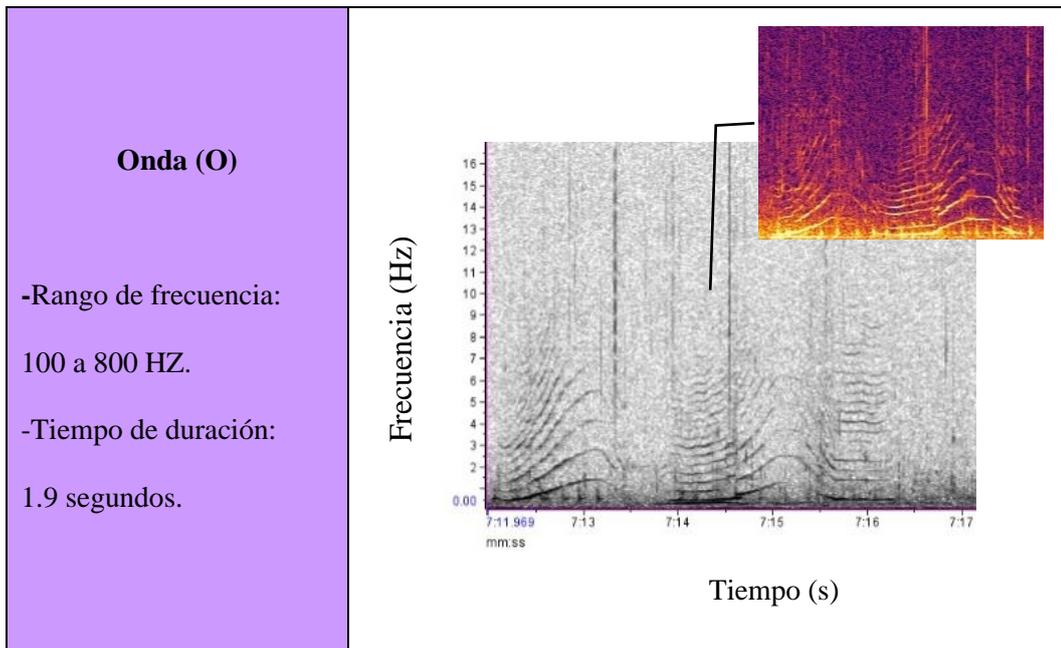
- Rango de frecuencia:
100 a 5150 HZ.
- Tiempo de duración:
0.9 segundos.



Up (I)

- Rango de frecuencia:
100 a 1000 HZ.
- Tiempo de duración:
0.8 segundos.





En total en el 2021 se etiquetaron 1678 unidades (Tabla 3), en el que la unidad I, fue la más abundante con 904 unidades. En el caso de la unidad C, presentó frecuencias que no variaron mucho, a diferencia de la unidad A que mostró una frecuencia máxima alta. Las unidades BBP y O se caracterizaron por tener una mayor duración respecto a las demás unidades en el canto de las ballenas jorobadas.

Tabla 3. Resumen de las medidas tomadas para cada unidad del 2021, (U) es el total por tipo de unidades identificadas, (D) duración, (FQMIN) frecuencia mínima, (FQC) frecuencia central, (FQMAX) frecuencia máxima, (BW) ancho de banda.

2021										
Unidades	BBP		C		A		I		O	
U	n=348		n=220		n=143		n=904		n=63	
	\bar{X}	σ								
D (s)	1.3	0.6	0.8	0.3	0.9	0.3	0.8	0.3	1.9	1.0
FQMIN (Hz)	234.4	87.6	234.4	95.2	281.3	94.1	234.4	84.4	257.8	90.8

FQC (Hz)	351.6	127.7	281.3	172.5	468.8	192.9	328.1	147.4	375.0	190.4
FQMAX (Hz)	609.4	754.8	375.0	1037.9	820.3	749.3	445.3	739.6	750.0	735.4
BW (HZ)	386.7	725.2	140.6	1013.6	562.5	728.7	187.5	703.4	515.6	698.5

El análisis de clúster demostró la similitud que tenían las unidades, en el 2021 se reflejaron dos conglomerados, el primer conglomerado estuvo compuesto por las unidades I y C (Figura 12). De la misma manera, las unidades BBP y O formaron el segundo conglomerado porque en la base de datos (Tabla 3) mostraron que las frecuencias y duración fueron similares. Y, la unidad A también se adicionó a este conglomerado porque las características de los datos fueron semejantes a los de las unidades BBP y O.

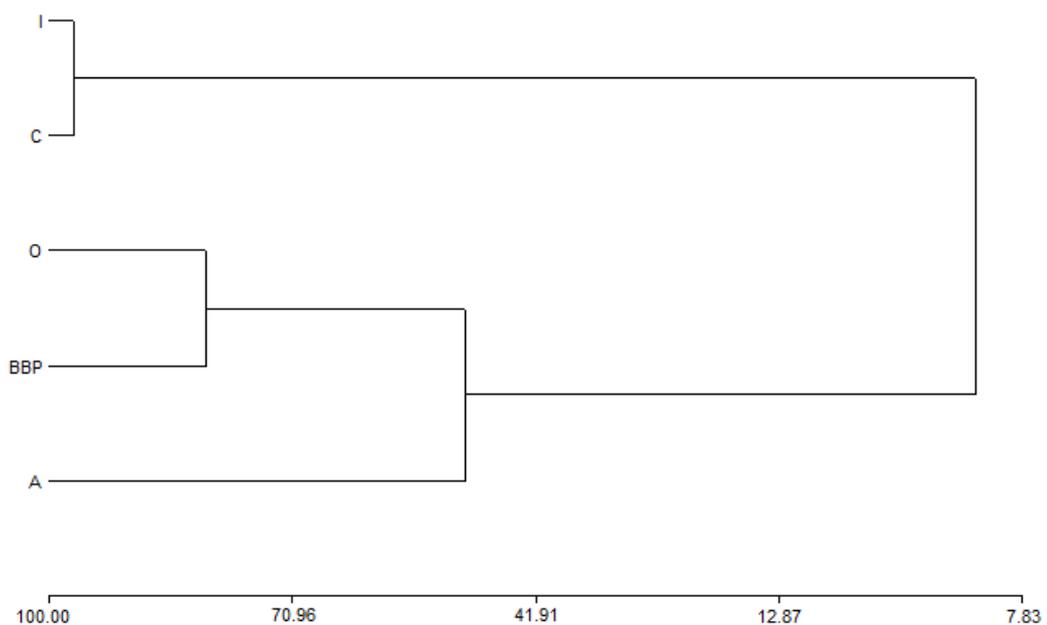


Figura 12. Dendrograma que muestra el análisis de agrupamiento de las unidades del 2021.

En el PCA la suma de los dos primeros componentes (ver Anexo 1) demostró el 80.8% de la variabilidad de los datos de las unidades del 2021. A través del biplot (Figura 13) se observó que en la primera dimensión (Dim1) demostró el 63.4 % y la segunda dimensión (Dim2) el 17.4%.

Las unidades O, BBP y A, pertenecieron a la primera dimensión del biplot porque se asociaron por los valores altos de las frecuencias, lo que coincidieron con el dendrograma (Figura 12), a diferencia de las unidades C e I que pertenecieron a la segunda dimensión porque estuvieron asociados a valores inferiores. Sin embargo, la mayor parte de las unidades se relacionaron por los componentes de FQC, BW y FQMAX porque las de unidades se localizaron en el centro del biplot (Figura 13).

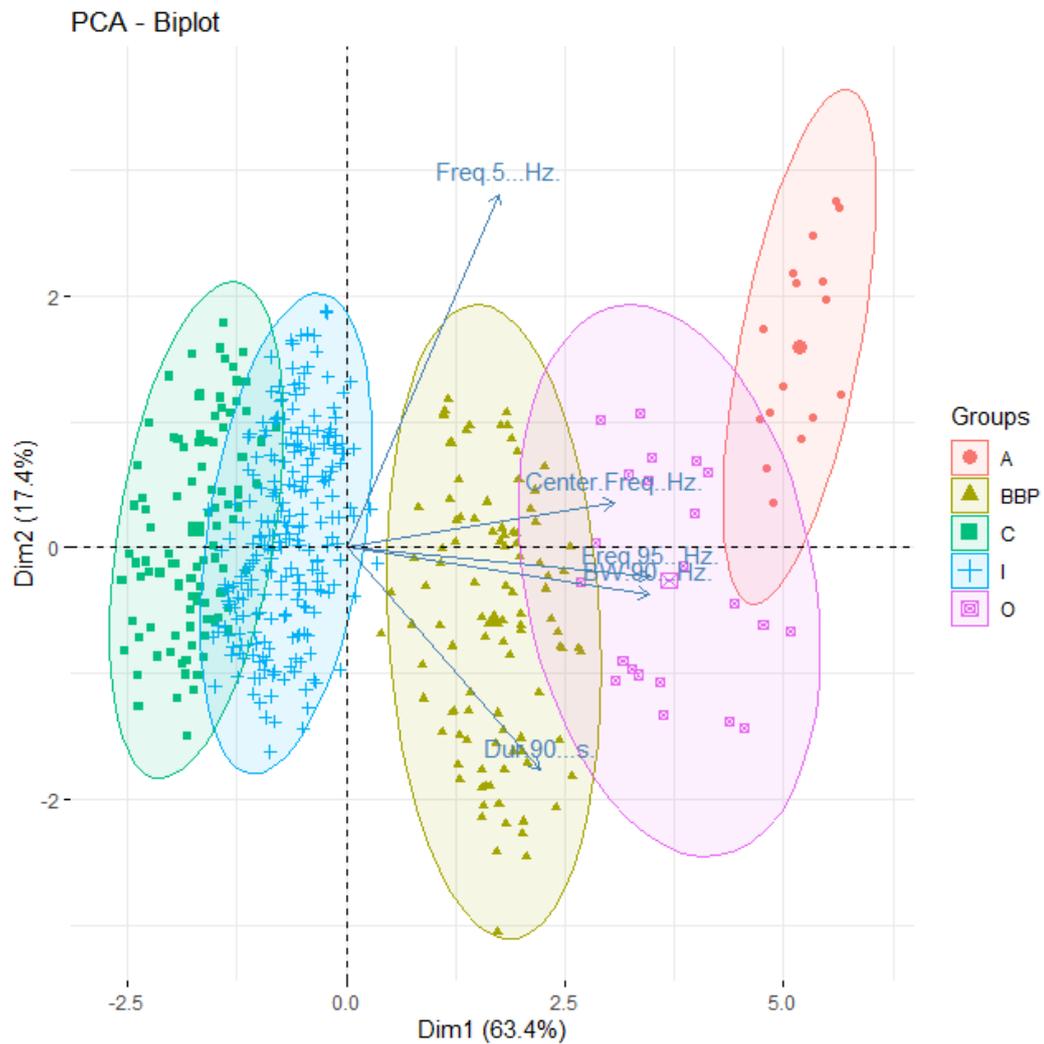
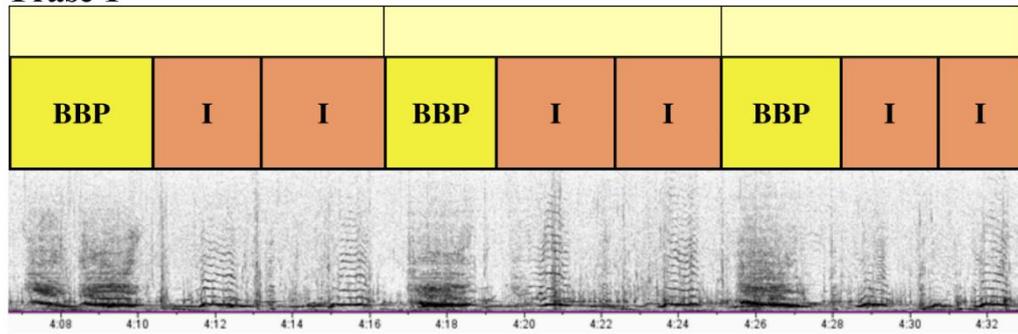


Figura 13. Biplot que describe el análisis de componentes principales del 2021.

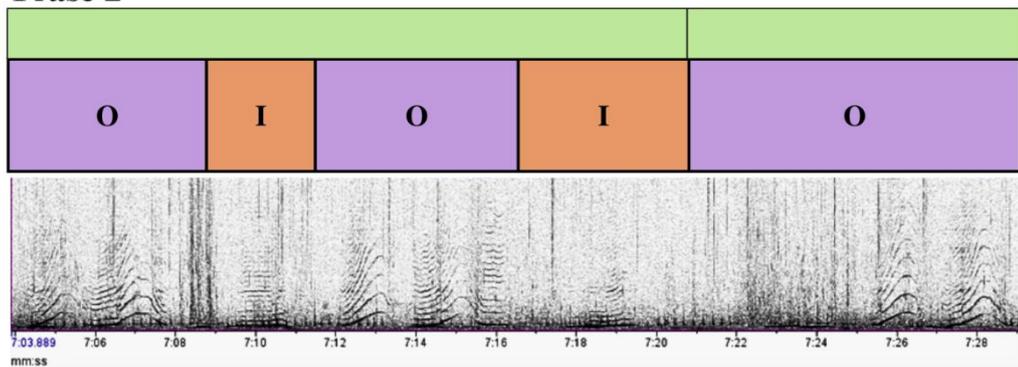
8.1.1 FRASES QUE COMPONEN EL CANTO DE LAS BALLENAS JOROBADAS EN EL 2021.

De las grabaciones analizadas del canto de las ballenas jorobadas en el 2021, se encontraron cinco tipos de agrupaciones de frases (Figura 14).

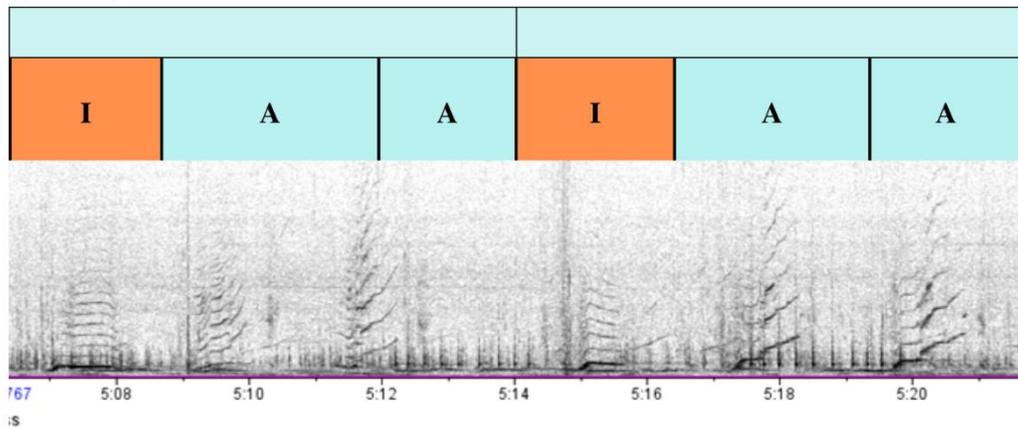
Frase 1



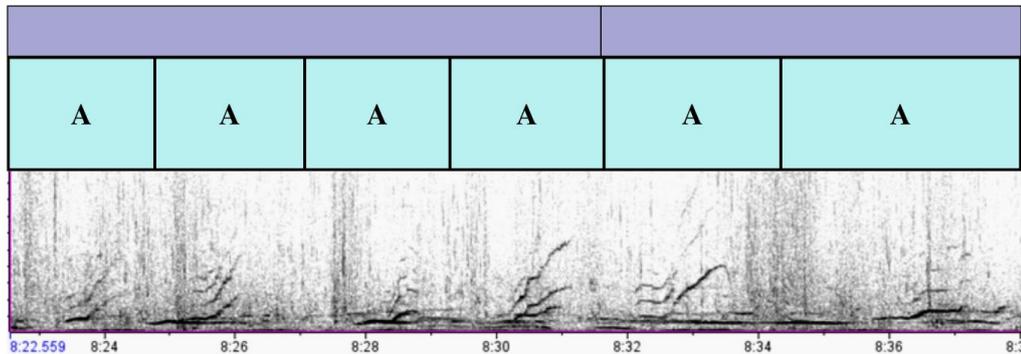
Frase 2



Frase 3



Frase 4



Frase 5

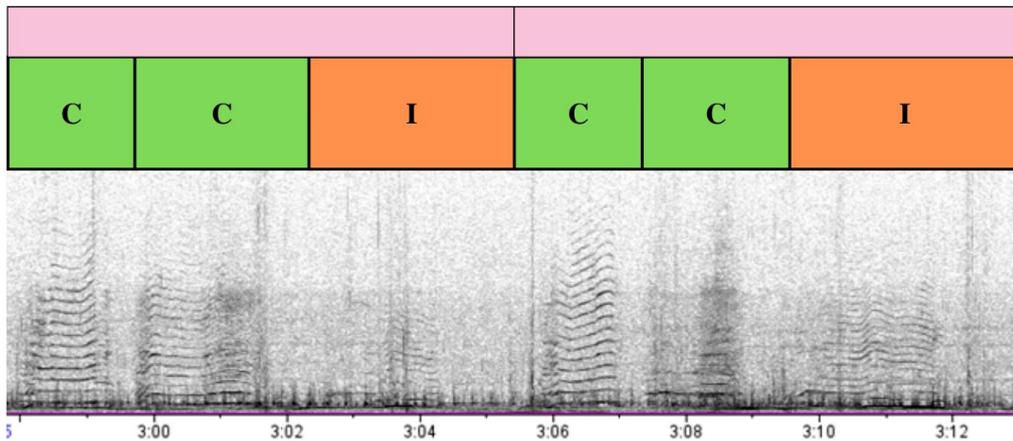


Figura 14. Espectrograma de las cinco frases encontradas en el canto del 2021. Cada uno de estos fragmentos se repitieron consecutivamente. Frase 1 (BBP/I/I), frase 2 (O/I/O/I), frase 3 (I/A/A), frase 4 (A/A/A/A), frase 5 (C/C/I).

Cada frase mostró composiciones diferentes, cabe destacar que una de varias unidades puede repetirse en varias fases, como en el caso de la unidad I que fue el sonido más común que se localizó en casi todas las frases del canto de las ballenas jorobadas (Tabla 4).

Tabla 4. Patrones que constituyeron el canto de las ballenas jorobadas en la temporada del 2021.

Frase	Abreviatura	Tipo de sonido
1	BBP	Pulso de banda ancha
	I	Up
	I	Up
2	O	Onda
	I	Up
	O	Onda
	I	Up
3	I	Up
	A	Maullido
	A	Maullido
4	A	Maullido
	A	Maullido
	A	Maullido
	A	Maullido
5	C	Lineal
	C	Lineal
	I	Up

Una vez clasificada la composición de las unidades que poseía cada frase, el análisis de datos cuantitativos demostró que la frase BBP/I/I fue la de mayor abundancia (Tabla 5) obteniendo el mayor número de unidades respecto al resto, seguida de la frase C/C/I. Por otro lado, la frase O/I/O/I presentó mayor duración en el canto y la frase A/A/A/A fue la menos frecuente y la de menor tiempo de duración.

Tabla 5. Resumen de las frases del 2021, **n** es el número de elementos medidos, **DF** duración de las frases, **NUF** el número de unidades encontradas en cada frase.

2021										
Frases	BBP/I/I		O/I/O/I		I/A/A		A/A/A/A		C/C/I	
	\bar{X}	σ								
n	221		34		47		12		83	
DF	10.20	8.25	14.65	4.14	10.33	3.48	8.65	3.04	10.70	3.15
n	918		144		192		49		375	
NUF	0.91	0.52	0.98	0.94	0.92	0.30	0.87	0.30	0.81	0.33

8.1.2 TEMAS QUE COMPONEN EL CANTO DE LAS BALLENAS JOROBADAS EN EL 2021.

Se encontró un total de 4 temas (Tabla 6) de todos los minutos analizados en la temporada 2021. El primero tema estuvo compuesto por frases que se intercalaron entre BBP/I/I y O/I/O/I, las cuales estuvieron presentes cinco veces en el canto. El segundo tema BBP/I/I y I/A/A se destacó porque presentó la mayor duración en la frase con respecto al resto. El tercer tema estuvo constituido por tres frases y fue el que menos se repitió. Por último, uno de los temas que más se encontró a lo largo del canto de las ballenas jorobadas estuvo conformado por las frases C/C/I y BBP/I/I.

Tabla 6. Resumen de los temas del 2021, **n** es el número de elementos medidos, **DT** duración del tema, **NF** el número de frases encontradas en cada tema.

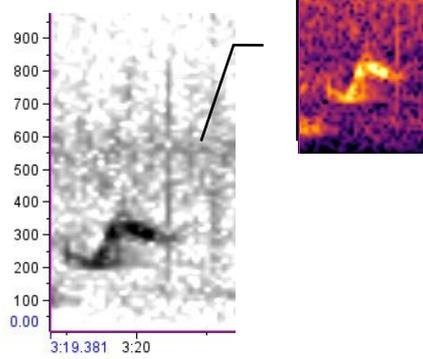
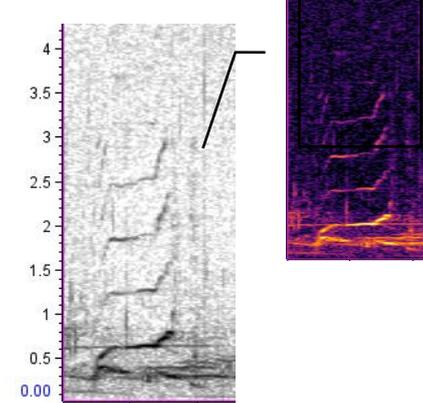
2021								
Temas	T1		T2		T3		T4	
	BBP/I/I - O/I/O/I		BBP/I/I - I/A/A		C/C/I-BBP/I/I – A/A/A/A		C/C/I-BBP/I/I	
	\bar{X}	σ	\bar{X}	σ	\bar{X}	σ	\bar{X}	σ
n	5		4		3		6	
DT	98.13	66.0	152.6	100.6	75.2	146.5	129.2	68.7
n	92		98		105		107	
NF	11.4	4.3	10.6	11.8	10.9	3.7	9.8	2.9

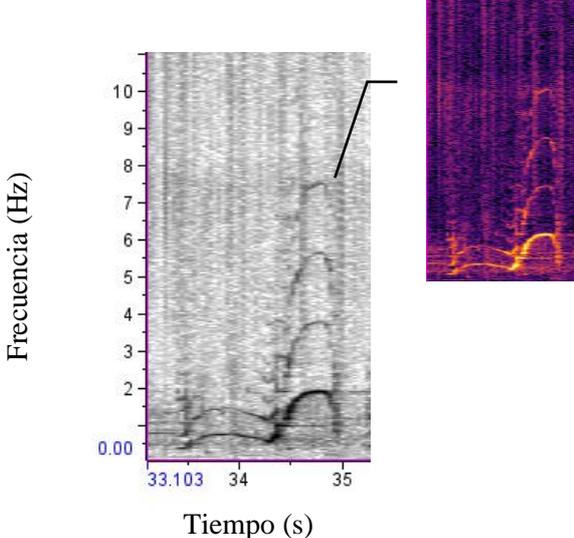
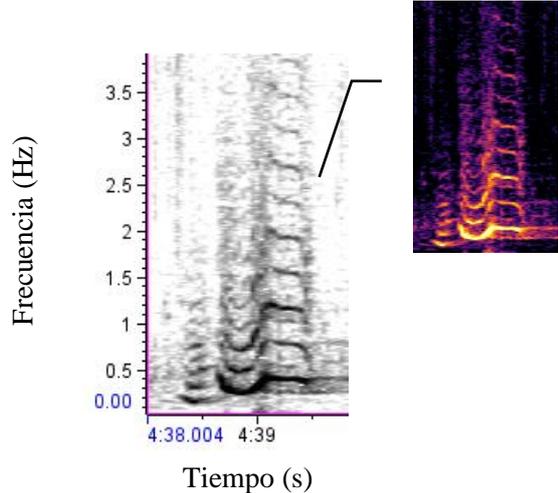
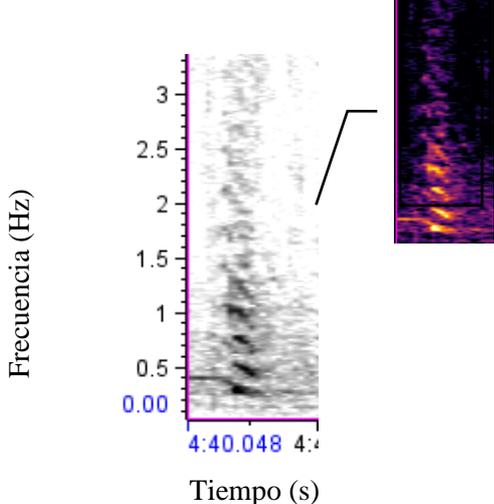
8.2 CLASIFICACIÓN DE LAS UNIDADES, FRASES, Y TEMAS DEL CANTO DE LAS BALLENAS JOROBADAS EN LA TEMPORADA DEL 2022.

8.2.1 UNIDADES QUE COMPONEN EL CANTO DE LAS BALLENAS JOROBADAS EN EL 2022.

En el 2022 se analizó un total de 107 minutos con 22 segundos de grabación, dando como resultado un total de nueve unidades encontradas en el canto de las ballenas jorobadas, clasificadas como: Trill (T), Llorón (L), Scream (S), Low yap (B), Modulated cry (M), Pulso de banda ancha (BBP), Maullido (A), Up (I) y Onda (O) (Tabla 7).

Tabla 7. Tipo de unidades identificadas en los espectrogramas que ofreció el programa Raven Pro 1.6 en el 2022.

2022	
Tipo de unidad	Figura
<p>Trill (T)</p> <p>-Rango de frecuencia: 245 a 427 HZ.</p> <p>-Tiempo de duración: 0.8 segundos.</p>	<p style="writing-mode: vertical-rl; transform: rotate(180deg);">Frecuencia (kHz)</p>  <p style="text-align: center;">Tiempo (s)</p>
<p>Llorón (L)</p> <p>-Rango de frecuencia: 100 a 6130 HZ.</p> <p>-Tiempo de duración: 0.7 segundos.</p>	<p style="writing-mode: vertical-rl; transform: rotate(180deg);">Frecuencia (Hz)</p>  <p style="text-align: center;">Tiempo (s)</p>

<p style="text-align: center;">Scream (S)</p> <p>-Rango de frecuencia: 500 a 1436 HZ.</p> <p>-Tiempo de duración: 0.7 segundos.</p>	
<p style="text-align: center;">Low yap (B)</p> <p>-Rango de frecuencia: 243 a 820 HZ.</p> <p>-Tiempo de duración: 0.5 segundos.</p>	
<p style="text-align: center;">Modulated cry (M)</p> <p>-Rango de frecuencia: 100a 1415 HZ.</p> <p>-Tiempo de duración: 0.3 segundos.</p>	

En el 2022 se etiquetaron 1365 unidades (Tabla 8), de las cuales se categorizaron como nuevas unidades las B, L, M, S y T. Mientras que las unidades BBP, A, I y O, se registraron nuevamente durante este año, en relación con el 2021. Siendo, la unidad I la que más se registró dentro del canto del 2022, y las menos ocurrentes las unidades A y O.

En cuanto a la unidad O, se caracterizó por tener una mayor duración con respecto a los demás, seguida de la unidad BBP. En el caso de las unidades A, L, M, O y S, estas presentaron los valores de frecuencia máxima más altos. Y para el caso del ancho de banda, las unidades L y M tuvieron el mismo rango, al igual que las unidades B y T. Además, estas dos últimas unidades en cuanto a las frecuencias no variaron en gran medida en comparación con las demás unidades. Mientras que la unidad I presentó un ancho de banda mínimo.

El análisis de clúster demostró que el 2022 estuvo desarrollado por dos conglomerados (Figura 15). El primero, formado por cinco unidades en las cuales T e I, se relacionaron porque compartieron similitud en la duración, frecuencia mínima y central (Tabla 8). Además, se unió a este conglomerado las unidades M y B, por la similitud que presentaron en la duración y frecuencia mínima.

Tabla 8. Resumen de las medidas tomadas para cada unidad del 2022, (U) es el total por tipo de unidades identificadas, (D) duración, (FQMIN) frecuencia mínima, (FQC) frecuencia central, (FQMAX) frecuencia máxima, (BW) ancho de banda.

2022																		
Unidades	B		BBP		A		I		L		M		O		S		T	
U	n=183		n=158		n=6		n=312		n=209		n=151		n=6		n=143		n=197	
	\bar{X}	σ																
D (s)	0.5	0.2	1.7	0.6	0.9	0.3	0.7	0.4	0.7	0.3	0.3	0.2	2.2	0.5	0.7	0.5	0.8	0.4
FQMIN (Hz)	258.4	55.6	258.4	93.3	436.0	346.2	269.2	69.2	344.5	123.5	172.3	105.8	452.2	108.5	516.8	196.7	258.4	82.8
FQC (Hz)	301.5	79.4	323	102.6	1076.7	690.7	312.2	138.8	624.5	137.1	333.8	331.4	108.5	637.3	689.1	495.0	323.0	106.5
FQMAX (Hz)	409.1	358.1	753.7	593.5	2637.8	1357.5	387.6	450.5	1292.0	761.4	1141.3	574.1	1889.5	1119.6	1636.5	1500.0	409.1	139.4
BW (HZ)	172.3	337.8	532.9	640.2	2024.1	1242.4	75.4	417.5	936.7	694.3	925.9	1151.4	1523.5	1151.4	1173.6	1378.6	172.3	120.3

El segundo conglomerado estuvo formado por cuatro unidades, donde las unidades S y L compartieron similitud en cuanto a duración, frecuencia máxima y central (Tabla 8). A este conglomerado también, correspondió la unidad A, que presentó una duración relativamente similar a las unidades S y L. Por último, la unidad O también formo parte del segundo conglomerado por las características de frecuencia central y máxima, sin embargo, como se observó en el dendrograma (Figura 15) esta se aleja del segundo conglomerado, debido a que el tiempo de duración de esta unidad fue más larga en comparación con el resto de las unidades (Tabla 8).

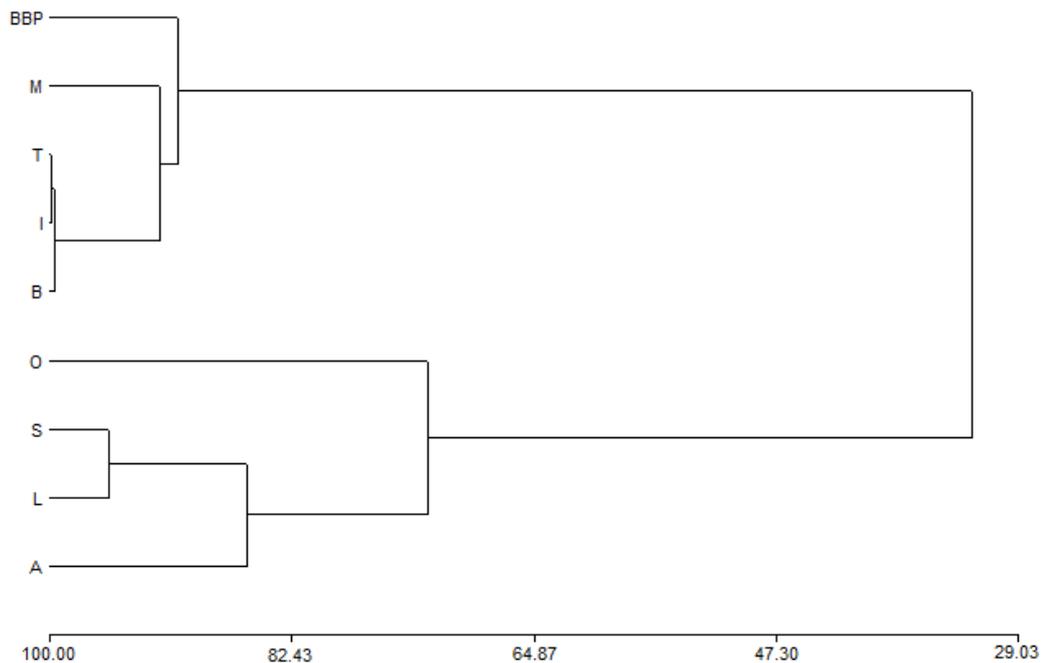


Figura 15. Dendrograma que muestra el análisis de agrupamiento de las unidades del 2022.

En el PCA la suma de los dos primeros componentes (ver Anexo 2) demostró el 87.1% de la variabilidad de los datos de las unidades del 2022. En el biplot (Figura

16), la primera dimensión (Dim1) estuvo compuesta por el 66.7 % y la segunda dimensión (Dim2) por el 20,4%. A diferencia del 2021, en el 2022 en la primera dimensión se encontraron las variables FQMIN, FQC, FQMAX y BW, en el cual se evidenció que las unidades S y L no fueron similares por no encontrarse superpuestas como lo fue en el caso de las unidades T, I y B (Figura 16). En el caso de la unidad O, esta correspondió a la primera dimensión, aunque se encontró alejada de los demás grupos debido a que la duración del sonido fue más larga en comparación con las otras unidades.

De la misma manera en la segunda dimensión se encontraron agrupadas las unidades T, I y B, que estuvieron fuertemente influenciadas por la duración, ancho de banda, frecuencia mínima, central y máxima (Tabla 8). De esta forma se reafirmó que los resultados mostrados en el dendrograma de los agrupamientos de las unidades (Figura 15) coincidieron con el biplot. Además, a este grupo se adicionó la unidad BBP, porque los rangos de frecuencias eran similares a las unidades T, I y B. Por otro lado, la unidad M se ubicó en el centro del biplot porque la duración fue menor, pero las frecuencia máxima fue similar a la de las unidades S, L y A.

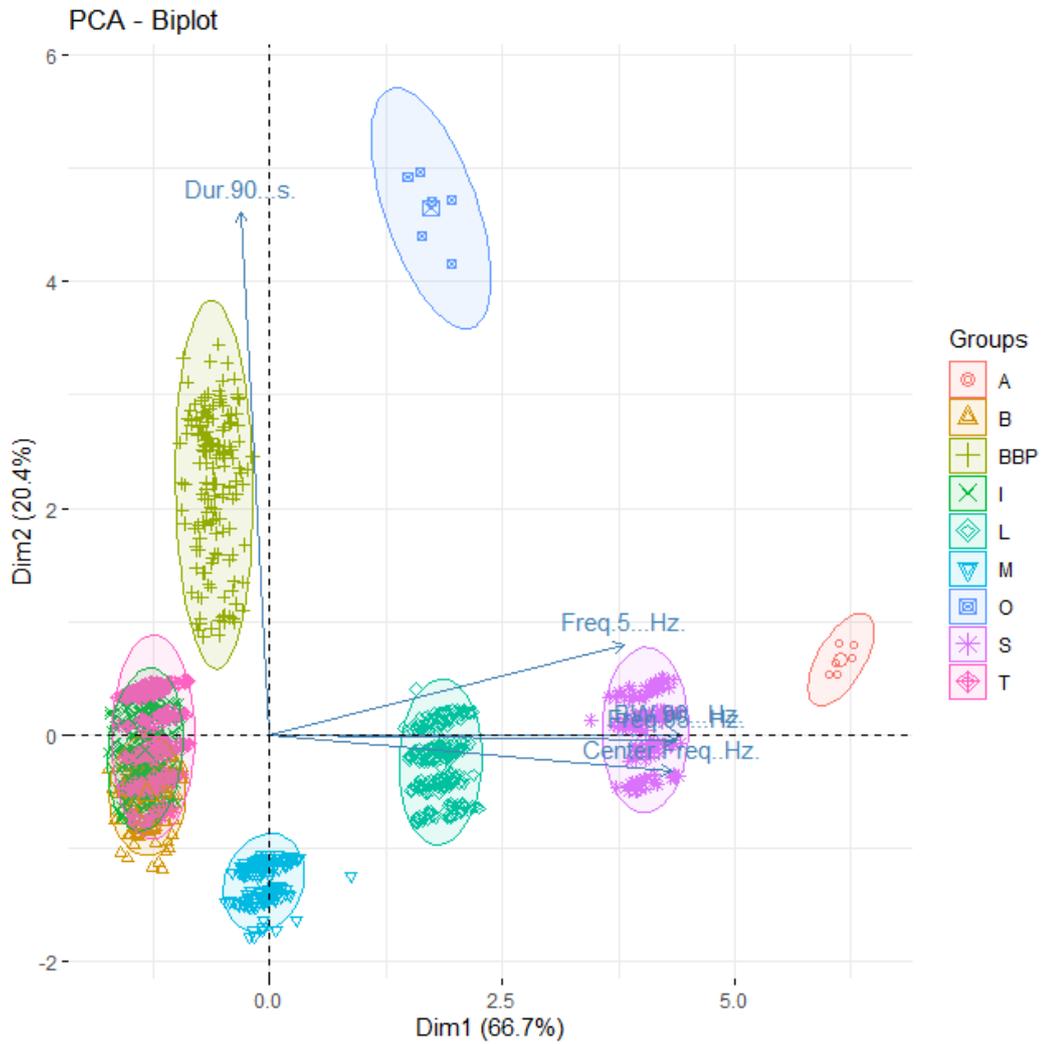
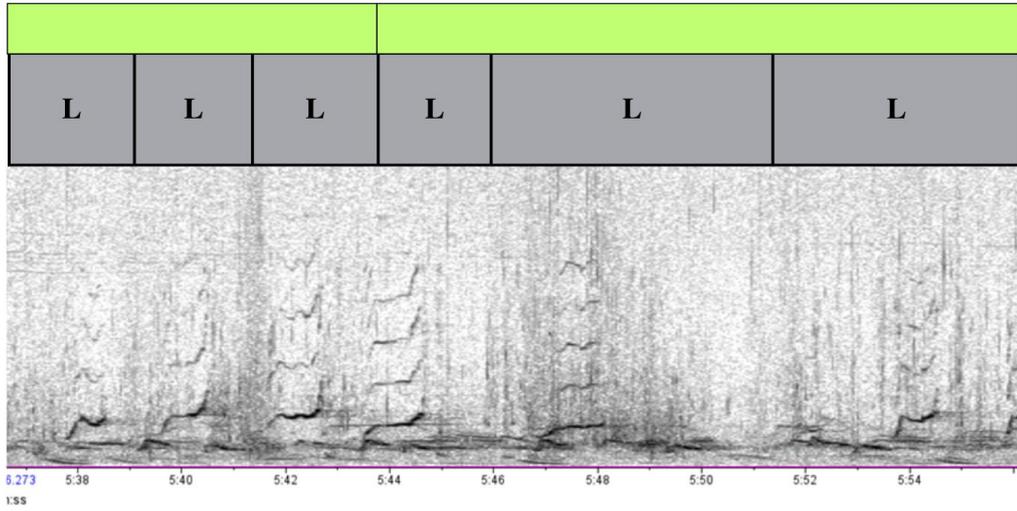


Figura 16. Biplot que describe el análisis de componentes principales del 2022.

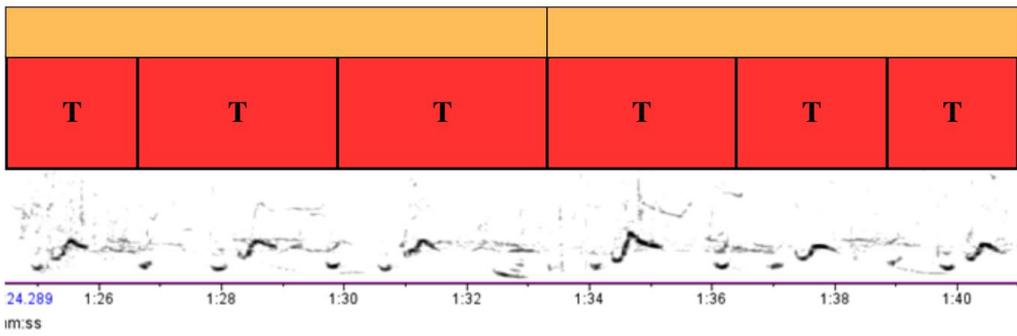
8.2.2 FRASES QUE COMPONEN EL CANTO DE LAS BALLENAS JOROBADAS EN EL 2022.

De las grabaciones analizadas, se encontraron seis frases en el canto de las ballenas jorobadas en la temporada del 2022 (Figura 17).

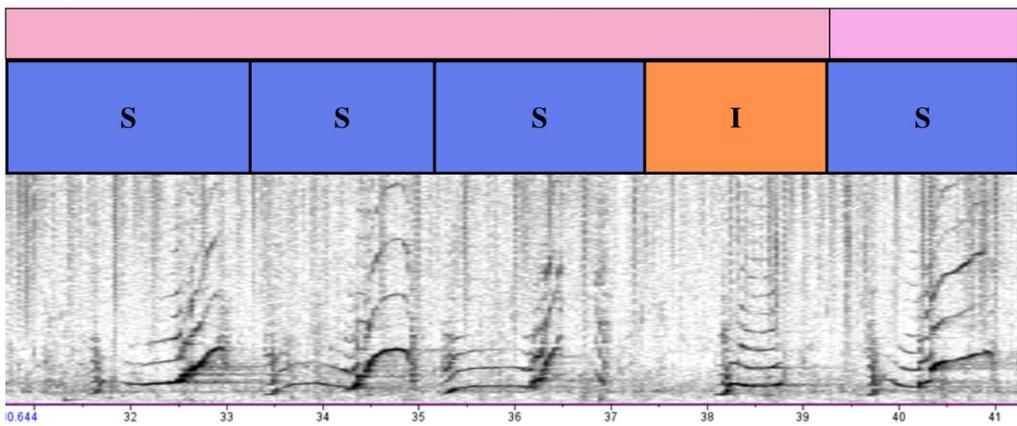
Frases 1



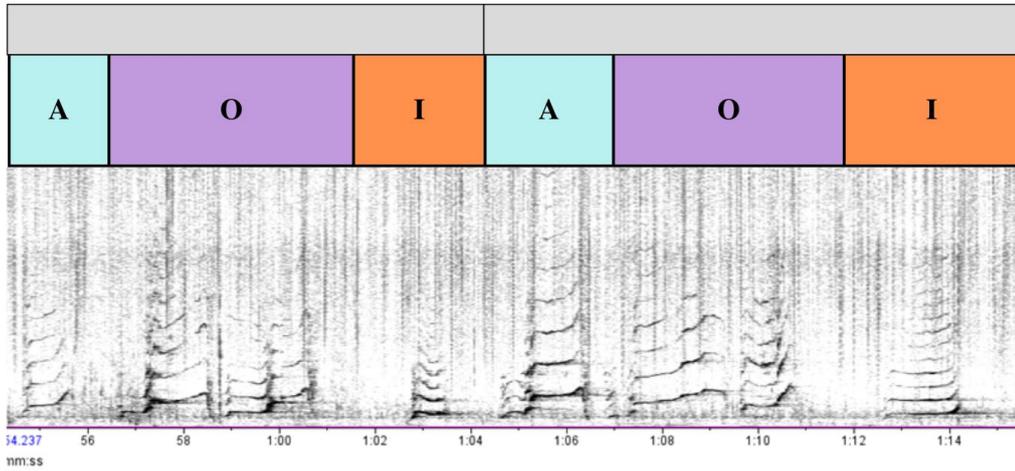
Frases 2



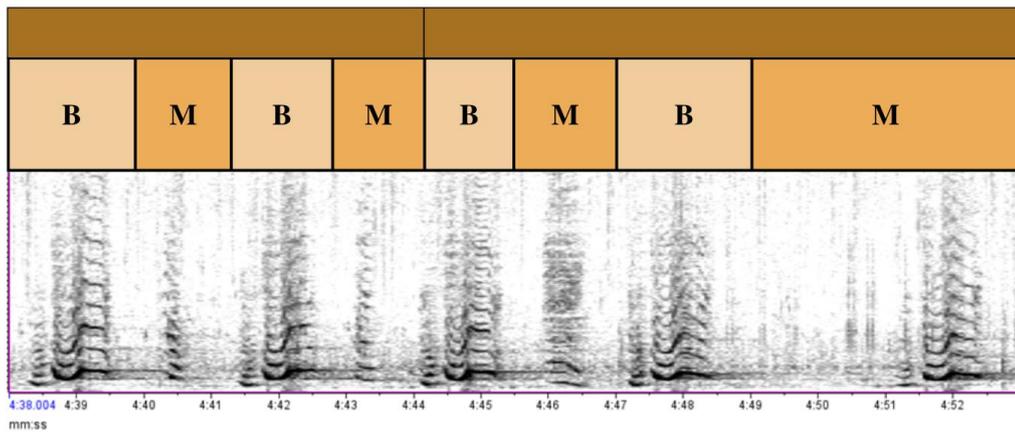
Frases 3



Frase 4



Frase 5



Frase 6

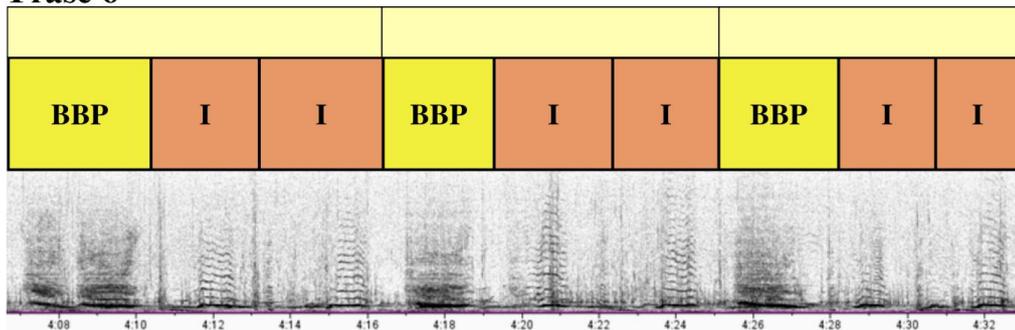


Figura 17. Espectrograma de las seis frases encontradas en el canto del 2022. Cada uno de estos fragmentos se repitieron consecutivamente. Frase 1 (L/L/L), frase 2 (T/T/T), frase 3 (S/S/S/I), frase 4 (A/O/I), frase 5 (B/M/B/M), frase 6 (BBP/I/I).

En cuanto al 2022, las seis frases estuvieron compuestas por diferentes unidades (Tabla 9). En particular, la unidad I se la registró nuevamente en las tres frases, tal como en el 2021.

Tabla 9. Patrones que constituyeron el canto de las ballenas jorobadas en la temporada del 2022.

Frase	Abreviatura	Tipo de sonido	Frase	Abreviatura	Tipo de sonido
1	L	Llorón	4	A	Maullido
	L	Llorón		O	Onda
	L	Llorón		I	Up
2	T	Trill	5	B	Low yap
	T	Trill		M	Modulated cry
	T	Trill		B	Low yap
		M		Modulated cry	
3	S	Scream	6	BBP	Pulso de banda ancha
	S	Scream		I	Up
	S	Scream		I	Up
	I	Up			

Aunque algunas frases cambiaron en el canto de las ballenas jorobas durante el 2022, la frase BBP/I/I permaneció como la más ocurrente en el 2022, seguida de la frase B/M/B/M (Tabla 10), por lo tanto, las dos tuvieron el mayor número de unidades. Además, la frase T/T/T fue la de mayor duración, a diferencia de la frase B/M/B/M que fue la que menos tiempo duró en el canto de la ballena jorobada en la temporada del 2022.

Tabla 10. Resumen de las frases del 2022, **n** es el número de elementos medidos, **DF** duración de las frases, **NUF** el número de unidades encontradas en cada frase.

2022						
Frases	T/T/T		L/L/L		I/A/O	
	\bar{X}	σ	\bar{X}	Σ	\bar{X}	σ
n	49		52		6	
DF	10.20	3.36	7.56	3.73	7.85	2.96
n	197		209		19	
NUF	0.80	0.36	0.71	0.31	1.00	0.78
Frases	BBP/I/I		S/S/S/I		B/M/B/M	
	\bar{X}	σ	\bar{X}	Σ	\bar{X}	σ
n	143		34		98	
DF	7.33	3.70	6.27	1.61	4.61	2.00
n	443		164		333	
NUF	0.92	0.64	0.72	0.45	0.44	0.20

8.2.3 TEMAS QUE COMPONEN EL CANTO DE LAS BALLENAS JOROBADAS EN EL 2022.

En el 2022 el canto registrado de las ballenas jorobadas contó con cuatro temas (Tabla 11). El primer tema, formado por tres frases consecutivas, las cuales estuvieron presentes dos veces en el canto. El segundo tema y el cuarto estuvieron constituidos por tres frases que se intercalaban y fueron los de mayor duración. El tercer tema estuvo constituido por dos frases, el cual se presentó cinco veces en los cantos.

Tabla 11. Resumen de los temas del 2022, **n** es el número de elementos medidos, **DT** duración del tema, **NF** el número de frases encontradas en cada tema.

2022								
Temas	T1		T2		T3		T4	
	T/T/T/T-L/L/L-I/A/O/I		T/T/T/T-BBP/I/I-L/L/L		BBP/I/I- L/L/L		BBP/I/I- S/S/S/I-B/M/B/M	
	\bar{X}	Σ	\bar{X}	σ	\bar{X}	σ	\bar{X}	σ
n	2		3		5		6	
DF	55.2	91.1	152.6	91.1	53.1	32.0	82.8	44.9
n	45		55		51		234	
NF	9.7	3.4	8.0	3.0	8.0	5.4	6.1	2.3

8.3 COMPARACIÓN DE LA ESTRUCTURA ACÚSTICA QUE COMPONEN LOS CANTOS DE LAS BALLENAS JOROBADAS ENTRE TEMPORADAS DEL 2021 Y 2022.

En el análisis de clúster se reflejaron dos conglomerados de acuerdo con la similitud que tenían los temas de las temporadas 2021 y 2022. El primer conglomerado estuvo compuesto por dos temas (Figura 18). En el que compartieron similitud el T4/2021 Y T2/2021. El segundo conglomerado estuvo formado por seis temas, en las que T3/2021 Y T2/2022 fueron las que compartieron mayor similitud. De esta manera se pudo corroborar a través del dendrograma que dos de los temas del año 2021 compartieron similitud con los del 2022.

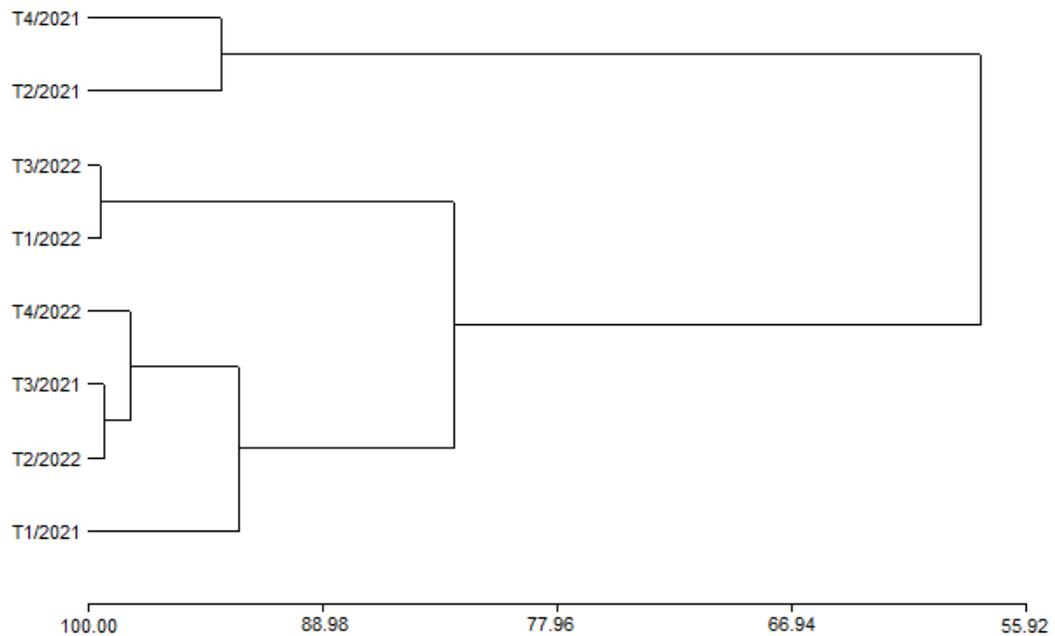


Figura 18. Dendrograma que muestra la comparación de la estructura acústica que componen los cantos de las ballenas jorobadas entre temporadas del 2021 y 2022.

Mediante la ilustración realizada para comparar los cantos de la temporada 2021 y 2022 (Figura 19), se encontró que la similitud de los temas se debe a se repitió una de las frases durante las dos temporadas, como lo fue la frase BBP/I/I, y en el caso de la frase A/O/I, también estuvo presente en el 2022, pero con la adición de la unidad A dentro de la frase, mostrando una estructura diferente. De esta manera, aunque algunas de las unidades se repitieron, formando frases distintas, por lo tanto, un tema diferente.

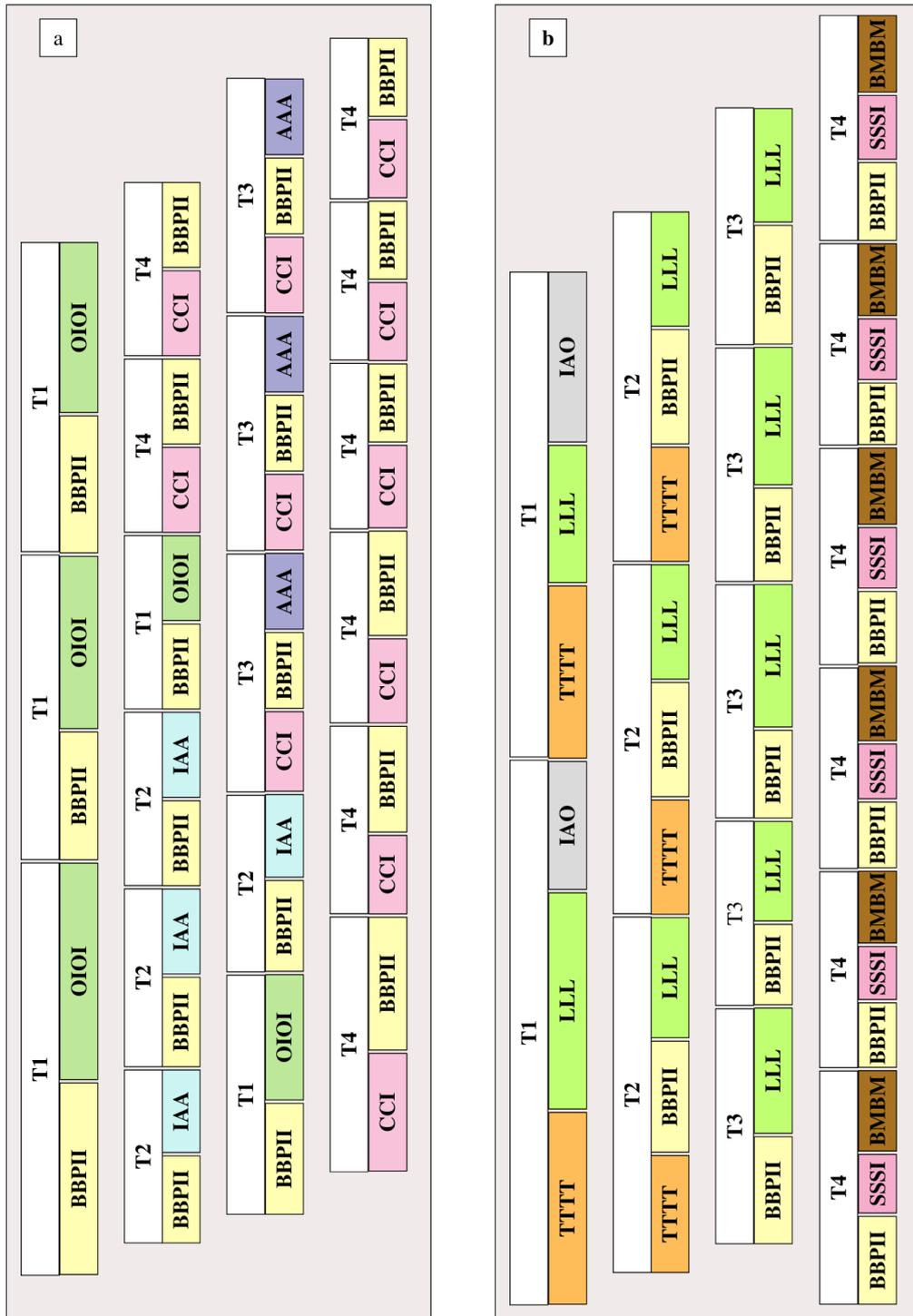


Figura 19. Comparación de las secuencias y agrupamiento de las unidades, frases y temas del canto de las ballenas jorobadas. a) temporada del 2021, b) temporada del 2022.

8.4 COMPOSICIÓN DE LOS GRUPOS SOCIALES REGISTRADOS EN LA TEMPORADA DEL 2022.

Durante el avistamiento del 2022 se registraron un total de 132 ballenas jorobadas en más de 100 horas de monitoreo. En torno a la Reserva Marina el Pelado, entre Playa Rosada y Palmar, fueron los lugares con mayor frecuencia de avistamiento de los grupos sociales, con un total de 49 grupos avistados (Figura 21) en la temporada del 2022.

El grupo con mayor frecuencia (Figura 20) registrado, estuvo constituido por madre con cría (MC) con un total de diecisiete grupos (34,46%), seguido de los adultos (A) que estaban conformados entre 3 a 10 individuos, registrándose un total de once grupos (22,45%); el grupo de madre-cría-escolta (MCE) se avistaron nueve grupos (18,37%), mientras que ocho grupos (16,33%) estaban compuestos por adultos y subadultos solitarios (S). Por último, y con menor frecuencia de avistamiento se identificaron un total de dos grupos (4,08%) que no se lograron reconocer si se trataban de una pareja de hembra y macho, por tal razón se clasificaron como dos adultos (A2), además, se registraron dos grupos (4,08%) de madres crías con más de un escolta (M+) en los monitoreos de la temporada 2022.

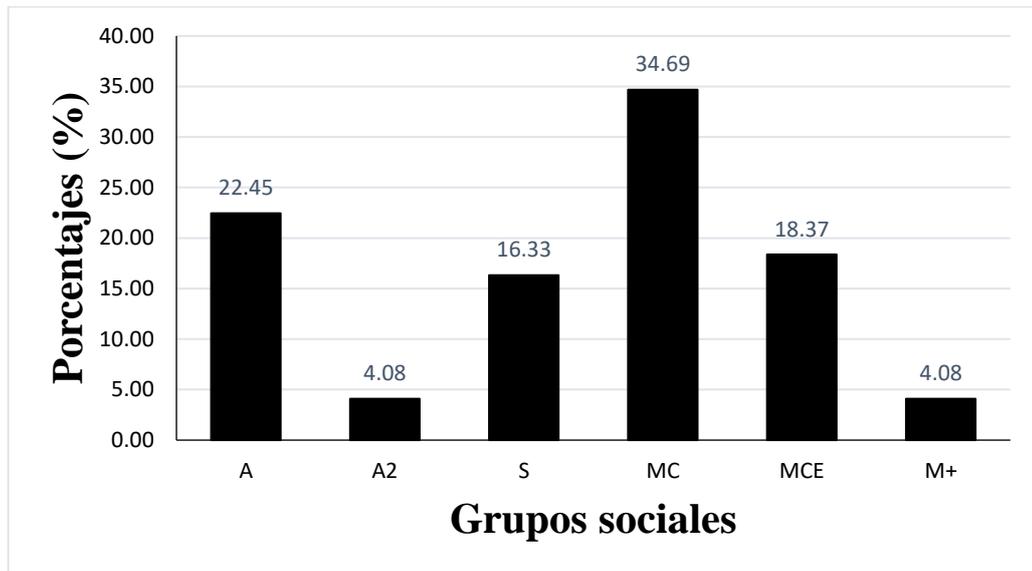


Figura 20. Porcentaje de las categorías de composición de grupos de ballenas jorobadas de la temporada 2022, grupos de 3 a 10 adultos (A), dos adultos (A2), adultos y subadultos solitarios (S), madre-cría (MC), madre-cría-escolta (MCE), madre-cría y más de un escolta (M+).

Es de gran importancia señalar que en el momento que se realizaron los monitoreos se grabaron los audios del canto de las ballenas jorobadas para la descripción de este estudio; los cuatro audios analizados estuvieron desarrollados por diferentes grupos sociales (Figura 21). El primer grupo fue de una ballena solitaria que se encontró frente a la Playa la Morilla, la segunda grabación fue la de 3 adultos que estaban aproximadamente a diez millas frente al sector del Parapente de Playa Bruja y las otras dos grabaciones fueron de madres con crías escoltadas por un adulto que se localizaron en diferentes áreas, uno frente al Parque marino Valdivia y el segundo a diez millas frente al sector del Parapente de Playa Bruja. Cabe recalcar que estas dos últimas grabaciones fueron de gran interés para el estudio porque el canto que realizaba el macho al estar solo se visualizó con mayor claridad en los espectrogramas para la clasificación y descripción del canto.

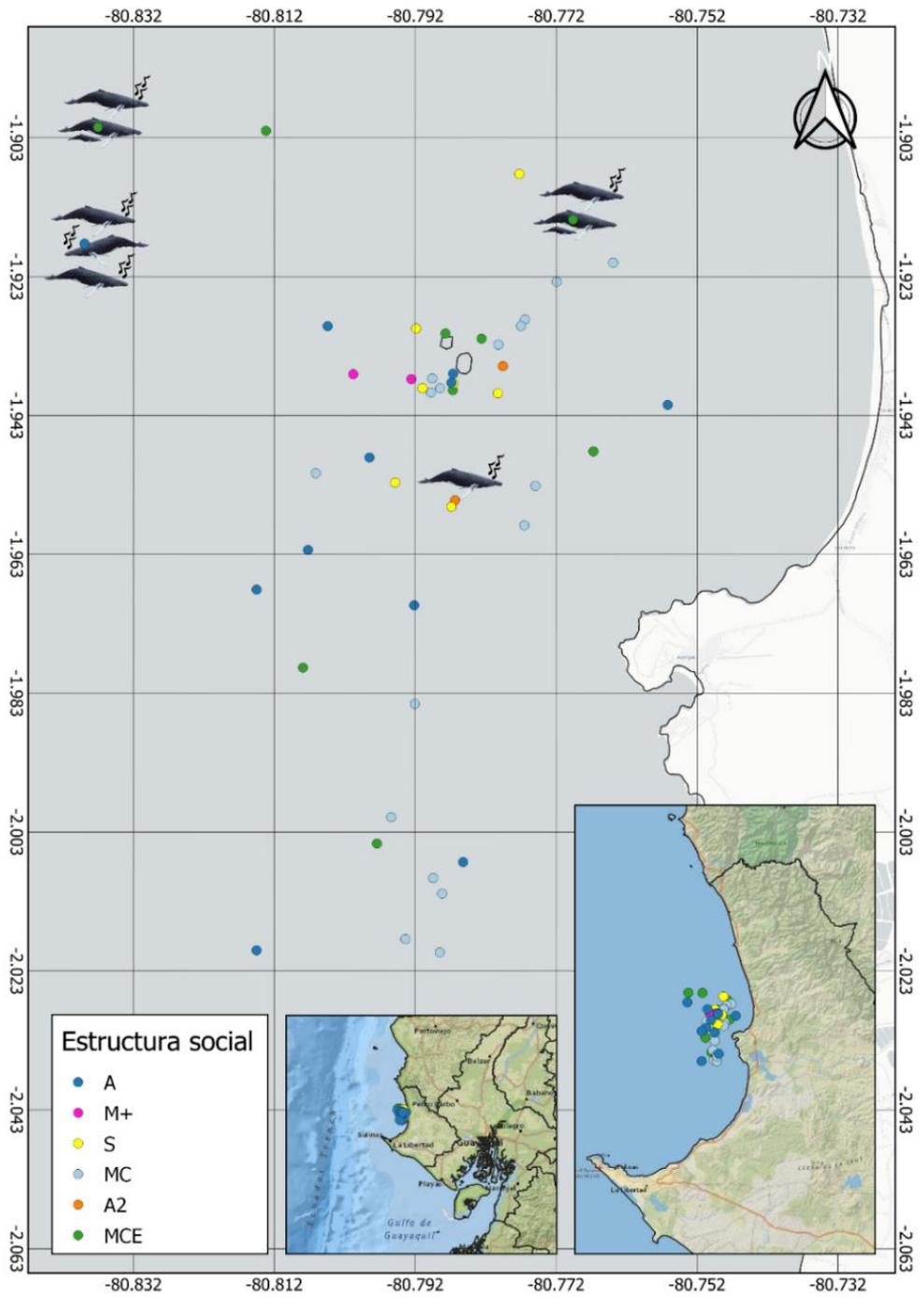


Figura 21. Puntos de distribución y tipos de agrupamientos de ballenas jorobadas cantando en la REMAPE en la temporada del 2022.

9. DISCUSIÓN

Durante el desarrollo del presente estudio la estructura del canto de las ballenas jorobadas que estuvieron en torno a la Reserva Marina el Pelado en las temporadas del 2021 y 2022, se clasificó e identificaron las unidades: pulso de banda ancha (BBP), lineal (C), maullido (A), up (I), onda (O), trill (T), llorón (L), scream (S), low yap (B) y modulated cry (M). Respecto a las frases en el 2021 se identificaron cinco, mientras que el 2022 contó con seis frases. Cabe señalar que solo la frase BBP/I/I fue aquella que se registró durante las dos temporadas, dando como resultado un total de cuatro temas para cada año manteniendo una estructura diferente.

El estudio llevado a cabo en el Parque Nacional Machalilla y la Reserva Canta Gallo por Barragán (2019), demostró que en la temporada del 2017 el canto de las ballenas jorobadas contó con las unidades: lineal (C), silbo (E), onda (L), down (B), up (H), up (I); y el canto de la temporada del 2018 las unidades; onda (A), silbo (E), lineal (C), up (H), up (F). El cual tres de las unidades se conservaron a las descritas en la presente investigación. Además, en el estudio de Barragán (2019), encontraron ocho frases para el año 2017, a diferencia del 2018 que solo contó con cinco frases.

En el caso del estudio realizado por Intriago (2015) en la costa de Esmeraldas; en comparación con la de otros años, las unidades, frases y temas fueron delimitados de forma cualitativa a base de la similitud. Encontrándose, 10 temas para el 2012, cinco para el 2013 y seis para el 2015. Además, las unidades estuvieron definidas por los nombres dcry, groan, large groan, moan, squeat, amoan, whoop. Sin embargo, las unidades dcry, moan y whoop se asociaron a lo encontrado en el presente estudio. Pero en el análisis de la comparación con la estructura del canto presentes en este documento, se concluye que no tienen similitud a los temas de las temporadas 2012, 2013 y 2015 registrados por Intriago (2015).

Francisco (2004), en un estudio realizado en Colombia donde está presente la población del stock reproductivo G al igual que Ecuador, definieron las unidades por nombres de la misma manera que en el estudio realizado por Intriago (2015). Las unidades encontradas fueron Lloronquejido, Burpsilbido, Pedido, Maullido, Burp, Gruñido, Pedido Doble, Pájaroburro, Prmaullido, Mugido, Llorón, Prlabios y Grito. Con un total de 13 frases y la presencia de 6 temas. Y, en comparación con la presente investigación se encontraron dos unidades similares (Llorón y Maullido) a las de Francisco (2004) en el canto de las ballenas jorobadas de las temporadas 2021 y 2022.

A partir de la comparación de las unidades que formaron el canto ballenas jorobadas durante la temporada 2021 y 2022, con las demás investigaciones realizadas en el Pacífico Oriental, se identificó que la unidad I se ha mantenido dentro del canto de las ballenas del stock G, en las distintas zonas de reproducción. Cabe destacar que en este estudio fueron definidas las unidades de acuerdo con los rangos de frecuencia (cuantitativo) y mediante los espectrogramas (cualitativa) por medio del programa Raven Pro. Sin embargo, muchos de los estudios realizados anteriormente solo han utilizado la descripción cualitativa lo que dificulta realizar comparaciones, puesto que no todos los espectrogramas se muestran con claridad, por eso que se recomienda que se realicen análisis cuantitativos para evitar errores en la delimitación de las unidades.

Respecto a la estructura social que forman las ballenas jorobadas, en la investigación realizada por Félix y Acosta (2011), mencionaron que durante la temporada del 2001 y 2009 alrededor de la de costa de la Península de Elena, la mayor frecuencia de avistamientos estuvo conformada por madres con crías. Estos resultados en comparación con los de esta investigación, fueron semejantes porque el mayor grupo avistado fue el mismo. Esto se debe a que este grupo tienen preferencia a las aguas costeras poco profundas. Además, Jiménez (2006), mencionó que las madres con crías optan por aguas con temperatura cercanas a los 25°C.

10. CONCLUSIONES

- De acuerdo con los objetivos planteados, se logró establecer la estructura del canto de las ballenas jorobadas que transitan por la Reserva Marina el Pelado, donde se determinó que al realizar la comparación entre el 2021 y 2022, algunas unidades que se mantuvieron dentro del el canto.
- La unidad I de acuerdo con las características que muestra, se delibera que es una de las unidades importante dentro del canto de las ballenas jorobadas por lo que también se lo encontró en otros estudios. Además, al ser una unidad de baja frecuencia, se plantea que es una de las más encontradas dentro del canto porque esta vocalización viaja más lejos en los océanos que los sonidos de alta frecuencia.

Respecto a las secuencias de los cantos durante estos dos años, se registró una estructura diferente, aunque varias de las unidades se repitieron, al momento de la organización de las frases, estas se modificaron ya sea eliminando o adicionando unidades, sin embargo, la frase BBP/I/I fue aquella que se mantuvo presente durante los dos años.

- Durante el avistamiento de ballenas jorobadas, las madres con crías fueron el grupo de ballenas jorobadas mayormente registradas durante la temporada del 2022, y esto podría deberse a la preferencia de las aguas costeras poco profundas donde se realizó esta investigación.

11. RECOMENDACIONES

- Para próximos estudios es importante enfocarse en conseguir alianzas con investigadores que se encuentran realizando en otras áreas análisis bioacústicos en ballenas jorobadas, y de esta manera lograr realizar comparaciones e identificar si existen variaciones en el canto, entre las poblaciones del mismo stock reproductivo.
- Para el análisis de datos bioacústicos, es de gran importancia que todos los estudios mantengan una estandarización del método, para obtener resultados de los cambios reales entre población y realizar un estudio a mayor escala.
- Es fundamental que se realicen estudios sobre la preferencia del tipo de hábitat submareal de las ballenas jorobadas que transitan por la Reserva Marina El Pelado, debido a que en otras investigaciones registran que suele existir una estrecha relación entre el tipo de organización social y la preferencia de hábitat.

12.BIBLIOGRAFÍA

- Aguilar, R., & Ochoa, M. (2022). Abundancia y distribución de mamíferos marinos y su relación con presencia de presas. Antar XXVI, verano austral 2019. *Boletín Instituto del Mar del Perú*, 37(1), Article 1. <https://doi.org/10.53554/boletin.v37i1.361>
- Andriolo, A., Zerbini, A. N., Moreira, S., Pizzorno, J. L., Danilewicz, D., Maia, Y. G., Mamede, N., Castro, F. R. de, & Clapham, P. (2014). What do humpback whales *Megaptera novaeangliae* (Cetartiodactyla: Balaenopteridae) pairs do after tagging? *Zoologia (Curitiba)*, 31, 105-113. <https://doi.org/10.1590/S1984-46702014000200001>
- Ávila, I., Flórez-González, L., & Capella, J. (2001, septiembre 16). *Análisis de dos comportamientos (aletazos-coletazos y saltos) de ballena jorobada (Megaptera novaeangliae) en grupos con crías*. 248.
- Barragán, L. M. (2019). *Análisis bioacústico del canto de la ballena jorobada Megaptera novaeangliae en el área marina del Parque Nacional Machalilla y la Reserva Canta Gallo entre el 2017 y 2018* [BachelorThesis, Quito: UCE]. <http://www.dspace.uce.edu.ec/handle/25000/19943>
- Bazúa, C. (2010). Sonidos en el mar: El delfín y el camarón tronador. *Ciencia - Academia Mexicana de Ciencias*, 61(1), Article 1.
- Bello, R. (2018). *Guía de campo para la necropsia y muestreos biológicos de cetáceos*. 94.

- Betancourt, L. (2013). *Informe final del monitoreo de ballenas jorobadas (Megaptera novaeangliae) en la bahía de Samaná en la temporada 2013*. 39.
- Betancourt, L., & Herrera, A. (2006). *Conociendo a las ballenas jorobadas: Nuestros más distinguidos visitantes*. 36.
- Borbón, H. R., & Rincón, F. A. (2008). *Foto identificación de individuos de ballenas jorobadas mediante patrones de su aleta caudal*. 1, 7.
- Borroto, R., Mancina, C. A., Larramendi, J., Spartacus-säätiö, & Sociedad Cubana de Zoología (Eds.). (2011). *Mamíferos en Cuba*. publisher not identified.
- Buitrago, A., Mendoza Henao, Á. M., Marín Zúñiga, D., Martínez Medina, D., Barona Cortés, E., Pantoja Sanchez, H. E., Zapata Hernández, L. C., & Forero Cano, A. M.-F. (2022). *Protocolo para toma de medidas de grabaciones focales en espectro audible utilizando el programa Raven (Versión 1.6.1) / Colección de Sonidos Ambientales*. <http://repository.humboldt.org.co/handle/20.500.11761/35978>
- Cabestrero, C. (2021). *Inteligencia artificial aplicada al canto de mamíferos marinos* [Masters, E.T.S. de Ingenieros Informáticos (UPM)]. <https://oa.upm.es/68635/>
- Cajuste, D., & Salvador, M. (2010). *Evaluación del servicio turístico en las operaciones de avistamiento de ballenas en Puerto López (Manabí)* [BachelorThesis]. <http://repositorio.uees.edu.ec/handle/123456789/325>

- Capella, J., & Flórez, L. (1999). *Guía para el conocimiento y conservación de la yubarta o ballena jorobada: Megaptera novaeangliae (Borowski)*. Convenio Andrés Bello.
- Castro, C. (2008). *Observación de ballenas en Estado Puro*.
- Cavalcante, M. A., Rodrigues, C. E. M., & Pontes, L. A. (2013). Nuevas tecnologías en el estudio de las ondas sonoras. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, 30(3), Article 3. <https://doi.org/10.5007/2175-7941.2013v30n3p579>
- Cervantes, P., & Saura, F. J. R. (2022). Contribución a la evaluación del impacto del ruido submarino; revisión de fuentes, propagación y recepción de energía acústica en el medio marino. *Revista de acústica*, 53(1-2), 37-61.
- Chanabá, P. G. (2020). Análisis de la fidelidad de sitio de Ballenas Jorobadas (*Megaptera novaeangliae*) en la costa de Esmeraldas, Ecuador. *Universidad San Francisco de Quito*, 48.
- Cholewiak, D. M., Sousa-Lima, R. S., & Cerchio, S. (2013). Humpback whale song hierarchical structure: Historical context and discussion of current classification issues. *Marine Mammal Science*, 29(3), E312-E332. <https://doi.org/10.1111/mms.12005>
- Cifuentes, J. L., & Cupul, F. G. (Eds.). (2014). *Temas sobre investigaciones costeras* (Primera edición). Universidad de Guadalajara.
- Cornejo, J., & Chávez, R. (2014). *Implicaciones en la observación de la ballena jorobada* (pp. 143-171). <https://doi.org/10.13140/2.1.3655.7128>
- Correa, L. M. (2014). *Efecto a corto plazo de las embarcaciones turísticas y en tránsito sobre el comportamiento en superficie de megaptera novaeangliae*:

Durante la temporada de reproducción 2008, en Bahía Málaga y alrededores (Valle del Cauca- Colombia). 107.

De León, E. P., Larrea, C. J., Bastidas, C. A., Ocaña, J., & Cruz, V. (2017). *Observacion de ballenas jorobadas en Ecuador* (p. 38). Ministerio de Turismo del Ecuador. <https://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:p5xIkM6NYtUJ:https://www.turismo.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2018/07/BALLENAS-Cambios-compressed1.pdf&cd=1&hl=es-419&ct=clnk&gl=ec>

De Los Ríos, O. A. (2010). Comportamiento sonoro en probetas de acero 1020 y madera en el ensayo de impacto Charpy. *Scientia et Technica*, 3(46), Article 46. <https://doi.org/10.22517/23447214.215>

Deal, M., & Rothenberg, D. (2015). A New Morphological Notation for the Music of Humpback Whales. *Art & Perception*, 3, 347-358. <https://doi.org/10.1163/22134913-00002040>

Díaz, J. (2015). *Patología y causas de la muerte de los cetáceos varados en las Islas Canarias (2006-2012)*. <https://accedacris.ulpgc.es/jspui/handle/10553/17258>

Díaz, S. (2022). *Caracterización del repertorio de silbidos del delfín de Guiana (Sotalia guianensis, Van Bénéden, 1864) en la bahía El Roto, golfo de Urabá, Colombia*. <https://bibliotecadigital.udea.edu.co/handle/10495/29893>

- Díaz, S., & Lasso, S. (2014). Estudio de la Incidencia de la temporada de observación de ballenas jorobadas en los aspectos socio-cultural y ambientales en el cantón Puerto López. *RICIT: Revista Turismo, Desarrollo y Buen Vivir*, 8, 8-30.
- Dovgan, A. (2014). Detección, identificación y localización de cetáceos con técnicas de acústica pasiva. *Ingeniería del agua*, 18(1), ix. <https://doi.org/10.4995/ia.2014.3293>
- Espinosa, S. (2015). *Análisis de diversidad genética y conectividad de ballenas jorobadas (Megaptera novaeangliae), mediante el análisis de la región control de ADN mitocondrial en la costa de Esmeraldas, Ecuador durante las temporadas 2010-2014*. 70.
- Etcheverry, G. (2016). *Generalidades sobre las Ballenas y apreciaciones sobre su Canto*. 11.
- Félix, F. (2015). *Guía de campo para la observación de ballenas jorobadas en la costa de Ecuador* (3.^a ed.).
- Félix, F., & Acosta, N. (2011). Distribution and behavior of humpback whale mother–calf pairs during the breeding season off Ecuador. *Marine Ecology Progress Series*, 426, 277-287. <https://doi.org/10.3354/meps08984>
- Fernández, E. (2011). *Informe final del estudio de población de la ballena jorobada (Megaptera novaeangliae Borowsky, 1781) en base al monitoreo, temporada 2011*. 29.

- Fernández, S. (2009). *Preferencia de hábitat de la Ballena Jorobada (Meganoptera novaeangliae) en la costa de Esmeraldas, Ecuador* [Bachelor Thesis, Quito: USFQ]. <http://repositorio.usfq.edu.ec/handle/23000/1298>
- Flórez, L., Avila, I. C., Capella Alzueta, J., Falk F., P., Felix, F., Giggons, J., Guzmán, H. M., Haase, B., Herrera C., J. C., Pena, V., Santillan, L., Tobon B., I. C., & Van Waerebeek, K. (2007). *Estrategia para la conservación de la ballena jorobada del Pacífico sudeste. Lineamientos para un plan de acción regional e iniciativas nacionales*. 106.
- Font, E., & Carazo, P. (2009). *La Evolución de la Comunicación Animal* (pp. 238-247).
- Francisco, B. (2004). *Estructura del canto de las ballenas jorobadas (Meganoptera novaeangliae) para la población del pacífico colombiano*. 90.
- Frankel, A. S. (2009). Sound Production. En W. F. Perrin, B. Würsig, & J. G. M. Thewissen (Eds.), *Encyclopedia of Marine Mammals (Second Edition)* (pp. 1056-1071). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-373553-9.00242-X>
- Frisch, J. (Ed.). (2014). Siguiendo a las ballenas jorobadas: Catálogo de fotoidentificación FIBB. En *Temas sobre investigaciones costeras* (Primera edición, pp. 172-190). Universidad de Guadalajara.
- García, M. del C. (2019). *Distribución espacial diferencial del género Balaenoptera en el Océano Atlántico tropical oriental*. 1-36.

- Godo, O., Johnsen, S., & Torkelsen, T. (2014). The LoVe Ocean Observatory is in Operation. *Marine Technology Society Journal*, 48(2), 24-30.
<https://doi.org/10.4031/MTSJ.48.2.2>
- Gómez, C. (2008). *Soluciones por ondas viajeras, y soluciones exactas de ecuaciones en derivadas parciales*. 569-578.
- González, L. M., & Smith, S. (2014). *Patrones espacio-temporales del canto de las ballenas jorobadas (Megaptera novaeangliae) en el Pacífico mexicano*. 9(2), 16.
- Goyes, P., Vinueza, D., & Echeverria. (2018). Plan de control y vigilancia y entrenamiento del personal en la Reserva Marina el Pelado. *Manejo integrado de espacios marinos y costeros de alto valor para la biodiversidad en el Ecuador continental*, 36.
- Guerra, D. F. (2014). *El krill, organismo clave en la vida marina antártica*. 25.
- Guevara, S. F. (2018). Patrones espaciales de comportamiento de Ballenas Jorobadas (*Megaptera novaeangliae*) en la Costa norte del Ecuador. *Repositorio Universidad San Francisco de Quito*, 41.
- Intriago, M. (2015, diciembre 1). *Evolution in song patterns of humpback whales (Megaptera novaeangliae) during the breeding season 2012, 2013, and 2015 off the coast of Esmeraldas, Ecuador*.
<https://www.semanticscholar.org/paper/Evolution-in-song-patterns-of-humpback-whales-the-Intriago-Marina/15253a02cad2d6f60e6cbf8410a8a4d1d6ed37d1>

- Jácome, G. S. (2017). *Ballenas jorobadas (Megaptera novaeangliae) en la costa de Esmeraldas, fidelidad de sitio, movimientos y parámetros poblacionales* [BachelorThesis, Quito]. <http://repositorio.usfq.edu.ec/handle/23000/6658>
- Jiménez, M. (2006). *Uso de hábitat de madres con cría y machos cantores de ballena jorobada (Megaptera novaeangliae) en la Región de los Cabos durante el invierno 2004.*
- Laute, A., Grove, T. J., Rasmussen, M. H., Smith, A., Loisa, O., & Fournet, M. E. H. (2022). Impact of whale-watching vessels on humpback whale calling behavior on an Icelandic foraging ground during the Covid-19 pandemic. *Marine Ecology - Progress Series*, 701, 159-173. <https://doi.org/10.3354/meps14202>
- Lecorchick, J. R. (2022). *Acoustic Variation in Ictalurid Catfishes.* <https://ecommons.cornell.edu/handle/1813/111447>
- Mandujano, H. (2012). La importancia de la comunicación acústica en organismos acuáticos. *Universidad y Conocimiento*, 1, 9-12.
- Marchigiani, M., Vettorel, S., & Biesio, G. (2015). *Ondas Física II*. 39.
- Martin, J. L., & Trejo, S. F. (2017). La dimensión acústica de la protesta social: Apuntes desde una etnografía sonora. *Íconos - Revista de Ciencias Sociales*, 59, Article 59. <https://doi.org/10.17141/iconos.59.2017.2643>
- Martínez, D., Acevedo-Charry, O., Medellín-Becerra, S., Rodríguez-Fuentes, J., López-Casas, S., Muñoz-Duque, S., Rivera-Correa, M., López-Aguirre, Y., Vargas-Salinas, F., Laverde-R, O., & Rodríguez-Posada, M. E. (2020).

- Estado, desarrollo y tendencias de los estudios en acústica de la fauna en Colombia. *Biota colombiana*, 22(1), 7-25.
- Martínez, S. (2008). *Un modelo de abundancia absoluta de la ballena jorobada Megaptera novaeangliae, en aguas adyacentes a las islas del Archipiélago de Revillagigedo, México* [Thesis, Universidad Nacional Autónoma de México].
<http://repositorio.fcencias.unam.mx:8080/xmlui/handle/11154/139729>
- Medrano, L. (2002). *La ballena jorobada (Megaptera novaeangliae) en la Norma Oficial Mexicana 059-ECOL-1994, 2000. Ficha de la especie, categorización de riesgo y propuesta para un plan nacional de investigación y conservación.*
- Medrano, L. (2009). *La evolución de los cetáceos* (1.^a ed., pp. 539-588).
- Mendoza, J. (2014). *Expresiones matemáticas importantes*. 9, 214-228.
- Muniz, F., & Regalado, F. (2021). *Anatomía e histología del hígado de Franciscana (Pontoporia blainvillei)*. 47.
- Muñoz, C. J., & Molina, G. (2011). *Observaciones de ballenas jorobadas (Megaptera novaeangliae) y su incidencia dentro de las actividades turísticas de la parroquia Puerto Cayo del Canton Jipijapa* [Bachelor Thesis, Jipijapa-UNESUM]. <http://repositorio.unesum.edu.ec/handle/53000/242>
- Navae, O. (2005). *Relaciones en propagación de ondas*. <http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbasees/wavrel.html>
- Nieto, M. D. (2020). *Guía sobre la vida de la ballena jorobada (Megaptera novaeangliae) y su paso por el pacífico colombiano*. 97.

- Olavarría, C. (2008). *Conservación y genética poblacional de ballenas jorobadas de la Península Antártica y Pacífico Sudamericano*. 18-20.
- Ortiz, D., Rodríguez, L., Lechuga, A., Olivos, A., Quijano Scheggia, S. I., Elorriaga-Verplancken, F., & Frisch-Jordán, A. (2012, mayo 6). *Enmalles, varamientos y avistamientos inusuales de mamíferos marinos en la costa de Colima, Mexico (2010-2011)*.
- Ortiz, M. (2010). Metodología para la modelación del impacto en ruido por la implementación del SITP en la ciudad de Bogotá. *instname:Universidad de los Andes*, 32.
- Pedroza, Á. D., Vargas, J. I. D. la R., & Valdez, R. R. (2018). Escuchando a la naturaleza: Del reconocimiento de voz a la Bioacústica. *Pistas Educativas*, 38(120), Article 120.
<https://pistaseducativas.celaya.tecnm.mx/index.php/pistas/article/view/598>
- Pérez, M. (2016). El viaje de la ballena jorobada. *Gaia Antártica: Conocimiento y cultura antártica*, 19.
- Pineda, Á. D. (2021). *Solapamiento del comportamiento acústico de cetáceos en presencia de ruido generado por embarcaciones turísticas en las Islas Galápagos* [BachelorThesis, Quito: Universidad Tecnológica Indoamérica]. <http://repositorio.uti.edu.ec/handle/123456789/1919>
- Poblete, R. (2014). La ballena Jorobada. *Gaia Antártica conocimiento y cultura antártica*, 14.

- Prieto, R., Valsero, M. C., & Adam, O. (2011). Cómo utilizar el canto de las ballenas para saber su número. *TRIM: revista de investigación multidisciplinar*, 2, 5-30.
- Puchet, C., Bolaños, S., & Rubio, M. (2012). *Ballenas jorobadas*. 161, 16.
- Rama, P. (2020). *Estudio sobre los mecanismos de comunicación de los cetáceos*. 32.
- Recalde, A. P. (2005). *Movimientos de la ballena jorobada (Megaptera novaeangliae) entre dos zonas del pacífico colombiano: El parque nacional natural Gorgona y la bahía de Málaga y alrededores*. 1-74.
- Reynolds, J. (1993). *Electrocardiografía del corazón de la ballena*. 18(2), 105-108.
- Reynolds, J. (2010). Ballenas en General. *Archivos de Medicina (Manizales)*, 10, 11-13. <https://doi.org/10.30554/archmed.10.0.1580.2005>
- Rodríguez, F., Silva, F., Trompieri-Silveira, A., Vergara-Parente, J., Miglino, M., & Guimarães, J. (2014). Morphology of accessory structures of the humpback whale (*Megaptera novaeangliae*) eye. *Acta Zoologica*, 96. <https://doi.org/10.1111/azo.12080>
- Rodríguez, J. (2004). Migraciones de la ballena jorobada. *Revista de Ciencias Ambientales*, 28(1), Article 1. <https://doi.org/10.15359/rca.28-1.2>
- Rojas, K. E. (2014). Análisis de la diversidad genética y conectividad de ballenas jorobadas (*Megaptera novaeangliae*) del Pacífico Sudeste en la costa de Esmeraldas, Ecuador durante la temporada 2012. *Repositorio Universidad San Francisco de Quito*, 85.

- Romero, F. G. (2012). *Propuesta de mejoramiento de la actividad turística de observación de ballenas jorobadas a través de la implementación de una guía de buenas prácticas ambientales en el cantón Puerto López en la provincia de Manabí, Ecuador.*
- Rosa, F., Almunia, J., Lüke, J., & Hernández, J. G. M. (2010). *Modelado paramétrico de señales bioacústica como técnica de compresión y extracción de características.*
- Ross, E. C., Elwen, S. H., Fearey, J., Thompson, K. F., Maack, T., & Gridley, T. (2022). Detection of humpback whale (*Megaptera novaeangliae*) non-song vocalizations around the Vema Seamount, southeast Atlantic Ocean. *JASA Express Letters*, 2(4), 041201-041207. <https://doi.org/10.1121/10.0010072>
- Roy, S. (2020, julio). *Sistema en Matlab para la segmentación y clasificación automática de sonidos de ballenas* [Info:eu-repo/semantics/bachelorThesis]. E.T.S.I y Sistemas de Telecomunicación (UPM). <https://oa.upm.es/66972/>
- Sánchez, A., & Sancho, J. L. (2006). *Sistema para la detección automática de señales acústicas de banda ancha emitidas por mamíferos marinos.* Universidad de Oviedo. Escuela Politécnica Superior de Ingeniería (Gijón). <https://repositorio.upct.es/handle/10317/1347>
- Sánchez, N., & Rodríguez, A. (2022). *Cómo experimentar con el sonido y sus características dentro de un aula de Educación Infantil.* <https://riull.ull.es/xmlui/handle/915/29187>

- SEMARNAT. (2018). *Programa de acción para la conservación de la especie en riesgo ballena jorobada (Megaptera novaeangliae)*. 88.
- Svenja, P., Vargas, T., & GIZ. (2019). Catálogo de cola ballenas jorobadas bahía de Samaná (2018). *Sociedad Alemana de Cooperación Internacional (Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit)*, 19.
- Szteren, D., & Hernández, D. (2008). *Phylum Chordata Subphylum Vertebrata Clase Mammalia—PDF Descargar libre* [Sección Zoología de Vertebrados, Curso de Biología Animal]. <https://docplayer.es/46174713-Phylum-chordata-subphylum-vertebrata-clase-mammalia.html>
- Tellechea, J. S. (2016). *Utilización de bioacústica como herramienta para la detección de cetáceos en la costa uruguaya: Características acústicas de los delfines franciscana (Pontoporia blainvillei) y nariz de botella (Tursiops truncatus)*. 92.
- Tyarks, S. C., Aniceto, A. S., Ahonen, H., Pedersen, G., & Lindstrøm, U. (2021). Humpback Whale (*Megaptera novaeangliae*) Song on a Subarctic Feeding Ground. *Frontiers in Marine Science*, 8, 7.
- Vallejo, A., Boada, C., & Chávez, D. (2022). *Megaptera novaeangliae* [Museo de Zoología, Pontificia Universidad Católica del Ecuador.]. <https://bioweb.bio/faunaweb/mammaliaweb/FichaEspecie/Megaptera%20novaeangliae>
- Vargas, F. E. (2016). *De costa a costa viaje al corazón de la ballena*. 15.
- Vásquez, J. (2016). El krill antártico: ¿base se la biodiversidad antártica? *GaiaAntártica*, 11.

- Vicente, I. O. (2021). *Revisión bibliográfica: Mecanismos de comunicación sonora en animales.*
- Vidal, A. (2021). Composición, mecanismos e importancia del microbioma mucoso en organismos marinos. *The Biologist*, 19(2), Article 2. <https://doi.org/10.24039/rtb20211921023>
- Welti, R. (2002). Concepciones de estudiantes y profesores acerca de la energía de las ondas. *Enseñanza de las ciencias: revista de investigación y experiencias didácticas*, 20(2), 261-270.
- Zeballos, M. M., & Chang, J. (2015). *Propuesta para el manejo sostenible del turismo de observación de ballenas jorobadas (Megaptera novaeangliar) en la zona de salinas.* 5.
- Zuñiga, A. M. (2016). La inteligencia de las ballenas. *Gaia Antártica conocimiento y cultura antártica*, 23.
- Zurita, J. (2015). Avistamiento de Ballenas Jorobadas (*Megaptera novaeangliae*), con fines turísticos en la Caleta El Ñuro, Provincia de Talara, Región Piura. *Universidad Nacional de Piura / UNP*, 69.

13.ANEXOS

PCA	Eigenvalue	% variance
Comp 1	3.16944029	63.3888058
Comp 2	0.86772863	17.3545726
Comp 3	0.70245852	14.0491705
Comp 4	0.23423151	4.6846302
Comp 5	0.02614104	0.5228209

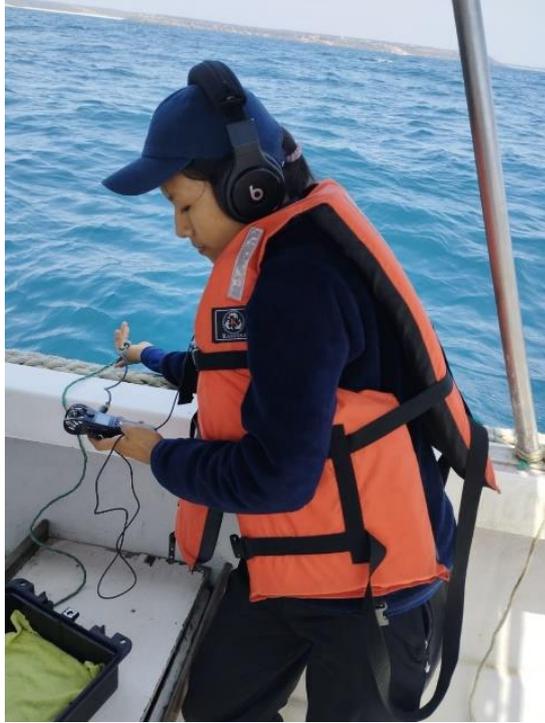
Anexo 1. Análisis de componte principal (PCA) del 2021.

PCA	Eigenvalue	% variance
Comp 1	3.33705356	66.7410712
Comp 2	1.02003033	20.4006067
Comp 3	0.45803957	9.1607915
Comp 4	0.16700355	3.3400710
Comp 5	0.01787298	0.3574596

Anexo 2. Análisis de componte principal (PCA) del 2022.



Anexo 3. Inmersión del hidrófono omnidireccional Cetacean Research modelo SQ26-08.



Anexo 4. Obtención de datos acústicos.