



UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR
FACULTAD DE CIENCIAS BIOLÓGICAS
CARRERA DE CIENCIAS BIOLÓGICAS Y AMBIENTALES

**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**

Trabajo de titulación (Proyecto de Investigación) previo a la obtención del Título
de Licenciada en Ciencias Biológicas y Ambientales

Autor: Barragán Tabares Luna María

Tutor: Gavilánez Endara María Mercedes, PhD.

Quito, 2019

DERECHOS DE AUTOR

Yo, Luna Maria Barragán Tabares, en calidad de autora y titular de los derechos morales y patrimoniales del trabajo de titulación “**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**”, modalidad Proyecto de Investigación, de conformidad con el Art. 114 del CÓDIGO ORGÁNICO DE LA ECONOMÍA SOCIAL DE LOS CONOCIMIENTOS, CREATIVIDAD E INNOVACIÓN, concedo a favor de la Universidad Central del Ecuador una licencia gratuita, intransferible y no exclusiva para el uso no comercial de la obra, con fines estrictamente académicos. Conservamos a mi favor todos los derechos de autor sobre la obra, establecidos en la normativa citada.

Así mismo, autorizo a la Universidad Central del Ecuador para que realice la digitalización y publicación de este trabajo de titulación en el repositorio virtual, de conformidad a lo dispuesto en el Art. 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior.

El autor declara que la obra objeto de la presente autorización es original en su forma de expresión y no infringe el derecho de autor de terceros, asumiendo la responsabilidad por cualquier reclamación que pudiera presentarse por esta causa y liberando a la Universidad de toda responsabilidad.

Luna Maria Barragán Tabares

C.C: 1717395923

Dirección electrónica: lunamariabarragan@gmail.com

APROBACIÓN DEL TUTOR

En mi calidad de Tutora del Trabajo de Titulación, presentado por **LUNA MARÍA BARRAGÁN TABARES**, para optar por el grado de Licenciada en Ciencias Biológicas y Ambientales; cuyo título es: **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**, considero que dicho trabajo reúne los requisitos y méritos suficientes para ser sometido a la presentación pública y evaluación por parte del tribunal examinador que se designe.

En la ciudad de Quito al 1 días del mes de julio del año 2019

Maria Mercedes Gavilánez

DOCENTE TUTORA

C.C.: 1713172797

APROBACIÓN DEL INFORME FINAL/TRIBUNAL

El Tribunal constituido por: Ivan Jacome y Ana Soto

Luego de recibir el informe escrito del trabajo de titulación denominado: **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**, previo a la obtención del título (o grado académico) de Licenciada en Ciencias Biológicas y Ambientales presentado por la señorita **Luna Maria Barragán Tabares**

Emite el siguiente veredicto: **APROBADO**

Fecha: 24 de julio de 2019.

Para constancia de lo actuado firman:

	Nombre Apellido	Calificación	Firma
Vocal 1	Ivan Jacome
Vocal 2	Ana Soto

DEDICATORIA

Esta investigación es el fruto de toda una vida de sueños, es por ello que se lo dedico a mi familia, quienes nunca dudaron en apoyarme en mi decisión de convertirme en bióloga y en mi amor infinito al océano.

También se lo dedico a los gigantes azules que me llenaron de intriga por más de un año, en verdad espero que mi trabajo contribuya a su comprensión y conservación.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco en primera instancia a la Pacific Whale Foundation (PWF) quienes ofrecieron abiertamente toda su colaboración y apoyo en la investigación, particularmente a Cristina Castro, directora de la fundación en el Ecuador, quien fue mi maestra en el estudio de los cetáceos durante mis años de formación académica. A la agencia de turismo Palo Santo Travel y a la tripulación de las embarcaciones Palo Santo I y II, por toda su colaboración en la logística en la fase de campo.

Agradezco la apertura y apoyo del Ministerio de Ambiente, ya que este estudio fue parte del Permiso de Investigación para el estudio de la Demografía de la Ballena Jorobada en el Parque Nacional Machalilla, impulsado por la PWF.

A Enrique Barragán, Alejandro Fernández y Ricardo Morejón por su ayuda en la limpieza de los audios y el manejo de los programas de sonido necesarios para el desarrollo de esta investigación.

A Esteban Duque quien aportó con su conocimiento en el desarrollo teórico del trabajo; A Pamela Rivera quien estuvo atenta en el desarrollo metodológico y presentó su conocimiento en el análisis bioacústico.

A Hernán Orellana-Vásquez quien colaboró en el procesamiento de los datos acústicos del año 2017.

Y finalmente a Maria Mercedes Gavilánez, tutora y maestra, quien aportó en cada una de las etapas de la investigación.

ÍNDICE GENERAL

LISTA DE TABLAS	VIII
LISTA DE FIGURAS	IX
RESUMEN	X
ABSTRACT	XI
INTRODUCCIÓN	1
METODOLOGÍA	6
RESULTADOS	10
Descripción de las unidades que componen el canto del año 2017	10
Descripción de las unidades que componen el canto del 2018	12
Determinación de subfrases y frases	16
Caracterización de los temas	21
DISCUSIÓN	24
CONCLUSIONES	34
RECOMENDACIONES	35
LITERATURA CITADA	36
ANEXOS	42
Anexo 1: carta de compromiso con la Pacific Whale Foundation	42
Anexo 2: Tabla de datos del PCA	43
Anexo 3: Tabla de datos del DA	44

LISTA DE TABLAS

Tabla	Pág.
Tabla 1: Registros acústicos evaluados cada año, se eligieron cuatro grabaciones, a las dos mejores se les tomo las medidas acústicas de cada unidad, las siguientes dos fueron caracterizadas sin las mediciones. Las siglas de los responsables corresponden a MM: Marcel Morais y LB: Luna Barragán.	8
Tabla 2: Resumen de la medidas tomadas para cada unidad del año 2017, donde U significa unidades, D es duración, FQMIN es la frecuencias mínima, FQMAX es la frecuencia máxima, AB es el ancho de banda, FQI es la frecuencia inicial, FQUC es la frecuencia al un cuarto de la unidad, FQM es la frecuencia al medio de la unidad, FQTC es la frecuencia a los tres cuartos de la unidad y FQF es la frecuencia final.....	11
Tabla 3: Resumen de la medidas tomadas para cada unidad del año 2018, donde U significa unidades, D es duración, FQMIN es la frecuencias mínima, FQMAX es la frecuencia máxima, AB es el ancho de banda, FQI es la frecuencia inicial, FQUC es la frecuencia al un cuarto de la unidad, FQM es la frecuencia al medio de la unidad, FQTC es la frecuencia a los tres cuartos de la unidad y FQF es la frecuencia final.....	17
Tabla 4: Resumen de las medidas de las ocho subfrases y frases del año 2017, donde n significa el número de elementos tomados en cuenta, puesto que solo dos grabaciones fueron medidas y dos más fueron caracterizadas, el número de elementos varía según la variable. DSF es la duración de la subfrase, DF es la duración de la frase, NUSF es el número de unidades de la subfrase, NUF es el número de unidades de la frase y NRSF es el número de repeticiones de la subfrase en cada frase.....	18
Tabla 5: Resumen de las medidas de las cinco subfrases y frases del año 2018, donde N significa el número de elementos tomados en cuenta. DSF es la duración de la subfrase, DF es la duración de la frase, NUSF es el número de unidades de la subfrase, NUF es el número de unidades de la frase y NRSF es el número de repeticiones de la subfrase en cada frase.....	21
Tabla 6: Resumen de las características de los temas, dado que cada año tuvo tres temas estos se enumeraron con la señal para diferenciar a que año pertenecían. En la tabla se ilustra la composición de cada tema. La n significa el número de elementos que se tuvieron en cuenta para el dato que se presenta, DT es la duración del tema, y NF es el número de frases que presentaba cada tema observado en las grabaciones caracterizadas.	22
Tabla 7: Resumen de las unidades repetidas y los nombres que se les dan en cada estudio analizado del canto de la ballena jorobada a través del tiempo en la población del Pacífico sudeste (stock G).	27

LISTA DE FIGURAS

Figura	Pág.
Figura 1: Mapa de distribución mundial de zonas de reproducción de la ballena jorobada: 1. Indias Occidentales 2. Islas Cabo Verde / África Noroccidental 3. Hawaii 4. América Central 5. México 6. Okinawa / Filipinas 7. Segundo Pacífico Oeste (ubicación exacta desconocida) 8. Australia Occidental 9. Este de Australia 10. Oceanía 11. Pacífico sudeste 12. Brasil 13. Gabón / África sur occidental 14. Sudeste de África / Madagascar 15. Mar Arábigo (Bettridge et al. 2015).....	1
Figura 2: Estructura del canto de la ballena jorobada (tomado de Frankel 2009).	5
Figura 3: Parque Nacional Machalilla cuenta con un área terrestre y la Reserva Marina Santa Gallo, están ubicados al sur de la provincia de Manabí, en la región costera del Ecuador.	7
Figura 4: esquema de las variables medidas en cada unidad 1-La línea representa el limite superior de la unidad de sonido, frecuencia máxima (FQMAX). 2- El limite inferior de la unidad de sonido, frecuencia mínima (FQMIN). 3- Frecuencia inicial (FQI).4- Frecuencia final (FQF). 5- Frecuencia en un cuarto de la unidad (FQUC). 6- Frecuencia al medio de la unidad (FQM). 7- Frecuencia a tres cuartos de la unidad (FQTC). Cabe resaltar que las frecuencias fueron medidas en el margen inferior.....	9
Figura 5: Espectrograma modelo de las unidades identificadas para cada año. a) Seis unidades identificadas en el año 2017. b) Cinco unidades identificadas en el año 2018.	11
Figura 6: Gráficos de los análisis estadísticos realizados para la verificación de la clasificación de las unidades del año 2017. a) dendrograma, b) biplot del análisis de componentes principales y c) biplot del análisis discriminante	14
Figura 7: Gráficos de los análisis estadísticos realizados para la verificación de la clasificación de las unidades del año 2018. a) dendrograma, b) biplot del análisis de componentes principales y c) biplot del análisis discriminante.	15
Figura 8: Gráficos de los análisis estadísticos realizados para la verificación de la clasificación de las unidades usando la información de ambos años, 2017 y 2018. a) dendrograma, b) biplot del análisis de componentes principales y c) biplot del análisis discriminante.	16
Figura 9: Espectrograma de las ocho sub frases encontradas en el canto del 2017, estos fragmentos eran repetidos consecutivamente formando así las frases que conformaron el canto. Para	18
Figura 10: Espectrograma de las cinco sub frases encontradas en el canto del 2018, al igual que el año anterior, las subfrases eran repetidas varias veces formando sus respectivas frases.	20
Figura 11: Representa la secuencia de frases, y su agrupamiento en temas de cada una de las cuatro grabaciones caracterizadas para cada año. a) el año 2017, para escuchar la estructura completa del canto de este año ver https://www.youtube.com/watch?v=ws4FRPVno9c&t=68s , b) el año 2018, para escuchar la estructura de este año ver https://www.youtube.com/watch?v=LiJdGILj7zs&t=7s	23
Figura 12: Modelo cíclico de una sesión de canto de ballenas jorobadas. Solo se ilustran los temas, puesto que este representa el nivel más alto de estructura. a) Modelo del año 2017 y b) Modelo del año 2018.	24

TEMA: 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.

Autor: Luna María Barragán Tabares

Tutor: María Mercedes Gavilánez

RESUMEN

La descripción del canto de *Megaptera novaeangliae*, población Pacífico sudeste (stock G) en los años 2017 y 2018, detalló la estructura general e identificó su dinámica. Se analizaron cuatro grabaciones cada año, la mitad cuantitativamente, la otra mitad cualitativamente, las unidades del canto se midieron para utilizar herramientas estadísticas que confirmaran su clasificación. Se diferenciaron ocho unidades, seis y cinco para cada año, tres compartidas. El 2017 presentó ocho frases y el 2018 cinco. Cada año mostró una estructura general similar, tres temas, uno marcaba el comienzo y dos se intercalaban varias veces. Se comparó los espectrogramas con otros estudios de la misma población, la unidad C fue la más conservada por las frecuencias bajas y armónicos que le dan un mayor alcance; la H y F fueron también comunes, con amplitudes mayores, y la E con frecuencias altas, favorece su difusión en aguas poco profundas. La unidad C estaba presente en otras poblaciones. Esta información es un aporte importante para la comprensión de la especie y tiene implicaciones socioeconómicas y en su conservación.

PALABRAS CLAVE: ACUSTICA REPRODUCTIVA/ BALLENA JOROBADA/ ESTRUCTURA DE LA CANCIÓN/ CLASIFICACIÓN DE LA CANCIÓN/ POBLACION PACIFICO SUDESTE/ APRENDIZAJE CULTURAL DEL CANTO.

TITLE: Bioacoustic analysis of humpback whale's song *Megaptera novaeangliae* in the marine area of Machalilla National Park and the Canta Gallo Reserve between 2017 and 2018.

Author: Luna María Barragán Tabares

Tutor: Dra. Maria Mercedes Gavilánez

ABSTRACT

The description of the song of *Megaptera novaeangliae*, Southeast Pacific population (stock G) in the years 2017 and 2018, detailed the general structure and identified its dynamics. Four recordings were analyzed each year, half quantitatively, the other half qualitatively, singing units were measured to use statistical tools to confirm their classification. Eight units were differentiated, six and five for each year, three shared. The 2017 lent eight phrases and 2018 five. Each year it showed a similar general structure, three themes, one marked the beginning and two interleaved several times. The spectrograms were compared with other studies of the same population, unit C was the most conserved by the low frequencies and harmonics that give it a greater range; H and F were also common, with higher amplitudes, and E with high frequencies, favors its diffusion in shallow waters. Unit C was present in others populations. This information is an important contribution for the understanding of the species and has socio-economic implications and its conservation.

KEYWORDS: REPRODUCTIVE ACOUSTICS/ HUMPBACK WHALE/ STRUCTURE OF THE SONG/ CLASSIFICATION OF THE SONG/ SOUTHEAST PACIFIC POPULATION/ CULTURAL LEARNING OF SINGING.

I CERTIFY that the above and foregoing is a true and correct translation of the original document in Spanish

Name

ID:

INTRODUCCIÓN

Las ballenas jorobadas son especies migratorias que viajan cada año desde sus áreas de alimentación localizadas en los polos (Ártica y Antártica) a sus áreas de apareamiento y reproducción en los trópicos (Oña 2013; Villegas-Zurita & Castillejos-Moguel 2013).

En el mundo se reconocen 15 poblaciones de ballenas jorobadas, de las cuales siete se distribuyen en la Antártida durante el verano austral, en el hemisferio sur. Sus áreas de reproducción y cría están en África, Australia, las islas del sur del Pacífico y Sudamérica (ver Figura 1) (Sheidat *et al.* 2000; Castro *et al.* 2011; NOAA 2015; Bettridge *et al.* 2015). Estas poblaciones se separan geográficamente de manera estricta debido a su comportamiento filopátrico, lo que podría influir en su diversidad genética y generar una presión selectiva que podría derivar en procesos de especiación (NOAA 2015).

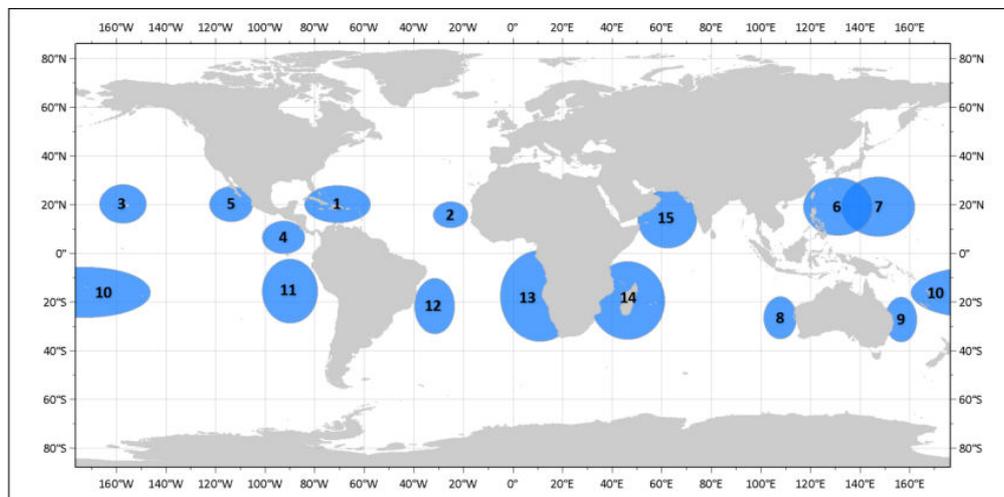


Figura 1: Mapa de distribución mundial de zonas de reproducción de la ballena jorobada: 1. Indias Occidentales 2. Islas Cabo Verde / África Noroccidental 3. Hawaii 4. América Central 5. México 6. Okinawa / Filipinas 7. Segundo Pacífico Oeste (ubicación exacta desconocida) 8. Australia Occidental 9. Este de Australia 10. Oceanía 11. Pacífico sudeste 12. Brasil 13. Gabón / África sur occidental 14. Sudeste de África / Madagascar 15. Mar Árabe (Bettridge *et al.* 2015).

En el Pacífico sudeste, durante los meses de junio a septiembre, las corrientes oceánicas tienen una fuerte influencia en el clima y la vida marina. En esta época la corriente fría de Humboldt llega mucho más al norte de la línea ecuatorial, lo que

fomenta la migración de la ballena jorobada y de otras especies del sur; al traer consigo aguas frías más productivas, permite que las ballenas y otras especies encuentren áreas que están en su rango de tolerancia de temperatura (Sheidatl *et al.* 2000).

Ecuador es parte de una gran área de reproducción de la ballena jorobada en el Pacífico Sudeste, conocida como Stock G (IWC), la cual se extiende desde Costa Rica, Panamá, Colombia, Ecuador, hasta el norte de Perú (Scheidat *et al.* 2000; Rasmussen *et al.* 2007; Castro *et al.* 2011; Oña 2013).

A pesar de que el proceso de migración de las ballenas jorobadas ha sido bastante estudiado (Robbins *et al.* 2011; Stevick *et al.* 2011; Herman 2017; Albertson *et al.* 2018), aún se desconocen varios aspectos asociados a este comportamiento, como las distintas tasas de filopatría relacionadas con el género (Acevedo *et al.* 2006; Robbins *et al.* 2011; Stevick *et al.* 2011). Actualmente se presume que existe un flujo de individuos entre distintas poblaciones, que podría estar ocurriendo por la cercanía de áreas de alimentación y en algunos casos su solapamiento (Acevedo *et al.* 2006; Robbins *et al.* 2011).

El comportamiento migratorio de la ballena jorobada representa un papel ecológico trascendental para estos ecosistemas (Villegas-Zurita & Castillejos-Moguel 2013). Debido al gran volumen de alimento que consiguen en las profundidades, que sustenta su gran tamaño, promueven el flujo de nutrientes y energía en los océanos; sus desechos (plumas fecales, restos placentarios) eliminados en la superficie del agua a lo largo de sus rutas migratorias favorece a las comunidades plantónicas; sus cadáveres alimentan a comunidades de especies bentónicas; y debido a sus desplazamientos en las columnas de agua, modifican estos cuerpos en sus condiciones y composición; todo lo anterior ha permitido calificar a los cetáceos como arquitectos del ecosistema marino (Roman *et al.* 2014).

Además del valor ecológico de los cetáceos, se debe resaltar su importancia económica y social. Debido a su ecología, las ballenas favorecen la productividad primaria de los océanos y con ello la pesca (Roman *et al.* 2014). Por otro lado, la popularidad de los cetáceos como objetos turísticos se ha incrementado en las

últimas décadas, dado su comportamiento acrobático que las hace fácilmente observables.

El turismo de observación de ballenas (*whale watching*) en América del Sur ha incrementado desde 1998, en una tasa anual de 11,3%, con la generación de aproximadamente \$278,1 millones de dólares anuales en ingresos directos e indirectos. Esta alternativa económica no extractiva, fomenta la conservación del medio marino y genera ingresos a numerosas familias de tradición pesquera (Guadamud 2017).

En el Ecuador la ballena jorobada es uno de los atractivos turísticos más representativos. En el año 2014, Puerto López generó más de \$3.000.000 USD en ingresos directos e indirectos durante cuatro meses de presencia de ballenas jorobadas (Castro *et al.* 2015). En el 2017 hubo alrededor de 38 mil turistas en la provincia de Manabí, especialmente en el Parque Nacional Machalilla, ubicado en las cercanías de Puerto López, por ser una reconocida guardería de ballenas a nivel mundial (MAE 2017). Sin embargo, esta actividad también tiene consecuencias negativas, cuando no es realizada bajo un reglamento que garantice que los individuos observados no sean perturbados por la presencia de botes turísticos. Actualmente existe una normativa en el Ecuador y también una regulación estricta en este parque que se encarga de garantizar un turismo sustentable y responsable con los cetáceos (Cabrera & Galletti 2006; Guadamud 2017).

Megaptera novaeangliae fue considerada una especie en peligro de extinción durante la década de los 70's y 80's, debido la caza excesiva ocurrida en los años precedentes; dado al estado crítico de sus poblaciones se iniciaron planes de conservación a nivel mundial, apoyándose en la Ley de Conservación de Especies en Peligro de 1969 y la Ley de Especies en Peligro de Extinción (Bettridge *et al.* 2015), con resultados favorables. En la actualidad, esta especie se encuentra clasificada según la UICN en la categoría de preocupación menor (LC) (Reilly *et al.* 2008).

Aun así, los peligros para las poblaciones de ballenas jorobadas continúan debido a múltiples factores como su comportamiento migratorio, que representa un desafío de cooperación mundial, por lo que su protección en aguas internacionales se

convierte en una debilidad de la legislación para la conservación. Estos organismos son también vulnerables a las colisiones con embarcaciones de gran tamaño e interacción con artes de pesca; finalmente la contaminación, tanto química como acústica, entre otras actividades antrópicas ocasiona regularmente varamientos y la muerte de estos animales y muchas otras especies marinas (Duchez *et al.* 2007).

Dada la sensibilidad comportamental de la ballena jorobada frente a la contaminación acústica y a la irrupción de su hábitat, es de preferencia la utilización de métodos no invasivos para su estudio. Los análisis acústicos pueden generar gran cantidad de información sin ocasionar estrés a los individuos. Investigaciones basadas en datos acústicos han permitido realizar estimaciones de la densidad poblacional e identificar intercambios entre poblaciones (Prieto-González *et al.* 2011).

Debido al comportamiento altamente social de estos cetáceos, el estudio de su comunicación es fundamental para comprender su organización e interacciones, dado que la evolución de las herramientas comunicativas en estas especies les permite cumplir desafíos del entorno grupal como la reproducción, defensa contra depredadores, defensa territorial, búsqueda de alimento, vínculos sociales y cuidado parental (Barrows 2001; Dudzinki *et al.* 2009).

El presente estudio se centra en el canto, el cual solo es realizado por los machos, principalmente en los grupos de cortejo durante el invierno (Clark & Clapham 2004). Existen varias hipótesis en relación con la función de estos cantos. Por un lado, se presume que el canto es un comportamiento intersexual, para atraer a las hembras, o intrasexual, como un despliegue de dominancia entre machos (Frankel 2009; Oña 2013; Herman 2017); también se piensa que los cantos son usados para la formación de una estrategia reproductiva tipo “lek” (Herman 2017), y como sonar para localizar hembras, diferenciar entre individuos y ubicarse en el entorno marino (Oña 2013).

El canto se compone por un conjunto de elementos en un orden jerárquico de complejidad y longitud, llamadas unidades (ver Figura 2) que se comparan con notas musicales; dichas unidades pueden durar entre 5 y 30 segundos. Las frases representan una secuencia de entre 2 a 20 unidades. Los conjuntos de frases a su

vez forman temas (Frankel 2009). Una canción puede tener entre 4 y 12 temas. La duración del canto completo varía entre 5 y 30 minutos, pero los individuos pueden cantar continuamente, repitiendo la canción hasta por más de 48 horas; la frecuencia del canto puede variar alrededor de 20Hz, dentro del espectro de onda audible por el ser humano lo que facilita su detección y registro (Frankel 2009; Winn *et al.* 2011; Rossi-Santos 2012).

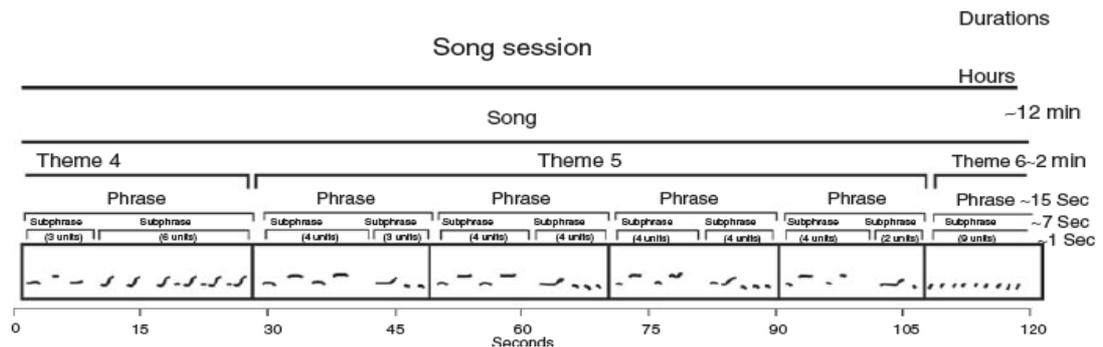


Figura 2: Estructura del canto de la ballena jorobada (tomado de Frankel 2009).

Si bien el canto de la ballena jorobada es único para cada población, su estructura puede variar a lo largo del tiempo, presentando eliminaciones o duplicaciones de unidades. Las variaciones del canto de cada año pueden verse relacionadas con el aprendizaje por el intercambio de individuos de diferentes poblaciones (Darling & Sousa-Lima 2005; Frankel 2009; Murray *et al.* 2011; Rossi-Santos 2012). Por lo tanto, la descripción del cambio del canto a lo largo del tiempo es uno de los primeros pasos necesarios para establecer coincidencias entre los cantos de otras poblaciones con las que se presume existe este intercambio.

Estudios sobre cantos de la ballena jorobada son abundantes para poblaciones de Japón, Australia y Hawái (Helweg *et al.* 1990; Dawbin & Eyre 1991; Mednis 1991; Guan *et al.* 1999; Maeda *et al.* 2000; Cerchio *et al.* 2001; Darling & Berube 2001; MacKnight *et al.* 2001; Mercado *et al.* 2003; Clark & Clapham 2004; Eriksen *et al.* 2005; Frankel 2009; Winn *et al.* 2011; Herman 2017); mientras que la población del Pacífico sudeste (cuya migración comprende al Ecuador) (Castro *et al.* 2011), no ha sido mayormente estudiada en cuanto a su acústica. Los estudios realizados hasta la actualidad son puntuales y describen el canto en un año específico o en una

situación particular Oviedo et al. 2008; Oña 2013; Intriago 2015; Buitrón-Suárez 2017; Perazio *et al.* 2017).

El presente estudio buscó generar una descripción del canto de *M. novaeangliae* (Ballena Jorobada) de la población del Pacífico Sudeste (Stock G), en el área marina del Parque Nacional Machalilla y la Reserva Marina Canta Gallo, entre los años 2017 y 2018, para lo que se establecieron las características de cada una de las partes que conforman su estructura, implementando una metodología cuantitativa de designación de las unidades, con el fin de establecer información con soporte estadístico. Además, se buscó establecer las posibles estructuras más conservadas del canto (tanto unidades, frases o temas), y las características relevantes del patrón del canto general. Con todo esto, se buscó crear una librería de acceso abierto en YouTube, donde se puede detallar de mejor manera las diferentes estructuras del canto estudiado en este trabajo. La información generada en este estudio servirá como un referente para investigaciones similares al aportar información cuantitativa que permita realizar comparaciones con grabaciones dentro de la misma población y otras poblaciones con las que puede haber aprendizaje cultural, permitiendo así entender mejor el comportamiento y la dinámica poblacional de esta especie.

METODOLOGÍA

La presente investigación fue de tipo observacional-descriptivo, de conjunto y de carácter longitudinal (Hernández-Sampieri *et al.* 2010). En esta se detalla cualitativa y cuantitativamente las características estructurales del canto de la población del Pacífico sudeste (Stock G) de *M. novaeangliae* (Ballena Jorobada), que se distribuye durante su temporada de reproducción, en las costas de Panamá, Colombia, Ecuador y Perú (Oña 2013). El análisis realizado se basó en grabaciones del canto tomadas en los años 2017 y 2018 en el Área Marina del Parque Nacional Machalilla y Reserva Canta Gallo en Ecuador con el apoyo de la Pacific Whale Foundation (ver Anexo 1).

El Parque Nacional Machalilla está ubicado en el centro-occidente del Ecuador, en la provincia de Manabí, cuya administración y territorialidad esta compartida entre el Cantón Puerto López, Jipijpapa y Montecristi. Ocupa un área de 56 184 ha, divididas en un área terrestre de 41 754 ha, y un área marina de 14 430 ha, dentro de la cual se encuentran las islas de la Plata, Salango y la Reserva Canta Gallo (ver Figura 3) (MAE 2009).

El área marina tiene una profundidad máxima de 200 m, por lo que se convierte en un espacio ideal como guardería de crías para la ballena jorobada. Los alrededores de las islas, principalmente la Isla de la Plata, presentan ecosistemas coralinos, mientras que la plataforma continental se extiende desde las costas del Ecuador hasta 25 millas, en donde se alcanza una profundidad de hasta 3 000 m (Sheidatl *et al.* 2000).

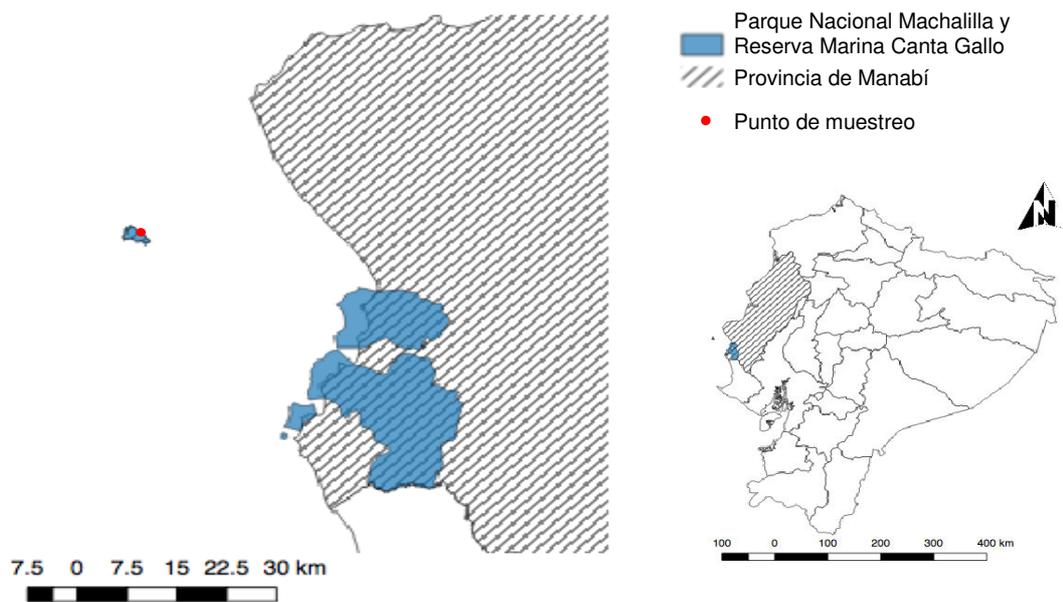


Figura 3: Parque Nacional Machalilla cuenta con un área terrestre y la Reserva Marina Canta Gallo, están ubicados al sur de la provincia de Manabí, en la región costera del Ecuador.

Las grabaciones fueron realizadas durante la temporada reproductiva y cría de *M. novaeangliae*, desde embarcaciones turísticas de 11 a 12 metros de largo, fibra de vidrio con motores de 150 Hp, sin tener en cuenta la composición del grupo de ballenas grabado (Helweg *et al.* 1990; Eriksen *et al.* 2005).

La bahía de la isla de la Plata fue el lugar usado para las grabaciones debido a que la presencia de ballenas es recurrente y el sustrato es arenoso, lo que disminuye el ruido ambiental al momento de las grabaciones, que fueron realizadas usando una grabadora digital e hidrófono con un cable de longitud de 10m.

En base al conocimiento de la duración del canto de la ballena jorobada (hasta 30 min) (Frankel 2009; Winn *et al.* 2011; Rossi-Santos 2012), se realizaron grabaciones que superaran este tiempo, con el fin de garantizar que cada grabación contenga una sesión completa del canto, al final de cada temporada se seleccionaron los mejores audios para su análisis (ver Tabla 1), eligiendo aquellos con mayor duración, sin ruido de fondo excesivo y donde se detectaba un canto dominante único, descartando aquellas grabaciones donde se escuchaban mas de una ballena cantando sin coordinación.

Tabla 1: Registros acústicos evaluados cada año, se eligieron cuatro grabaciones, a las dos mejores se les tomo las medidas acústicas de cada unidad, las siguientes dos fueron caracterizadas sin las mediciones. Las siglas de los responsables corresponden a MM: Marcel Morais y LB: Luna Barragán.

Año	Fecha	Duración	Tipo de análisis	Responsable
2017	2017	30:17	Cuantitativo	MM
	2017-9-21	29:07		LB
	2017-9-17	45:01	Cualitativo	LB
	2017-9-18	30:01		LB
2018	2018-09-06	46:43	Cuantitativo	LB
	2018-10-07	51:53		LB
	2018-08-31	37:42	Cualitativo	LB
	2018-10-06	45:57		LB

Posteriormente, se realizó una limpieza de los audios, usando el programa iZotope RX 5 Audio Editor V.5.02,431, para eliminar el ruido ambiental y realizar los análisis basados únicamente en el canto de la ballena. Con este programa también se fragmentaron los audios en partes de cinco minutos para facilitar los análisis bioacústicos. Se eligieron los dos mejores audios de cada año para ser analizados de manera cuantitativa (ver Tabla 1), con base en los espectrogramas generados a partir de las grabaciones, mismos que fueron obtenidos usando el programa de

análisis bioacústico Raven Pro 1.5 (Mednis 1991; Darling y Sousa-lima 2005; Eriksen *et al.* 2005).

Utilizando la metodología propuesta por Payne y McVay (1971) y las correcciones formuladas por Cholewiak *et al.* (2013), se analizó el espectrograma identificando cada unidad por una letra del abecedario y categorizándolas en cinco grupos según las características visuales generales, las categorías fueron: ondas, silbos, líneas, up y down, conjuntamente se realizaron mediciones manuales de cada una de las unidades identificadas, tomando la duración (D), frecuencia máxima (FQMAX), frecuencia mínima (FQMIN), ancho de banda (AB), frecuencia inicial (FQI), frecuencia a un cuarto (FQUC), frecuencia al medio (FQM), frecuencia a los tres cuartos (FQTC) y frecuencia final (FQF) (ver Figura 4) (Eriksen *et al.* 2005; Darling y Sousa-lima 2005; Maeda *et al.* 2000; Mednis 1991). Las medidas de cada unidad seleccionada para medición fueron tomadas manualmente sobre el espectrograma usando el programa Raven pro 1.5. Una vez seleccionada la unidad, el programa permite determinar el tiempo de inicio y de finalización, lo que permite calcular la duración de la unidad (D).

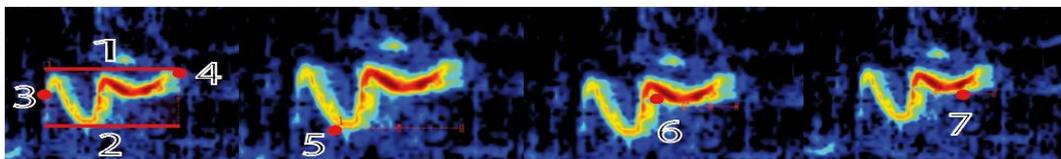


Figura 4: esquema de las variables medidas en cada unidad 1-La línea representa el limite superior de la unidad de sonido, frecuencia máxima (FQMAX). 2- El limite inferior de la unidad de sonido, frecuencia mínima (FQMIN). 3- Frecuencia inicial (FQI).4- Frecuencia final (FQF). 5- Frecuencia en un cuarto de la unidad (FQUC). 6- Frecuencia al medio de la unidad (FQM). 7- Frecuencia a tres cuartos de la unidad (FQTC). Cabe resaltar que las frecuencias fueron medidas en el margen inferior.

Una vez los datos fueron recolectados en matrices, se realizaron pruebas estadísticas para determinar si la clasificación asignada correspondía con el agrupamiento que estas presentan. Se realizó un dendrograma a partir de una matriz de distancias euclidianas creadas de las mediciones tomadas de cada unidad, utilizando el programa RStudio, Inc. Versión 1.1.463 – © 2009-2018, con el paquete vegan 2.4-5 (Oksanen *et al.* 2017). Luego se realizó un análisis de componentes principales (PCA), para identificar, cuáles variables podrían explicar gran parte de esa variación, y como esta variabilidad influye en la clasificación de

las unidades. Finalmente se realizó un Análisis Discriminante (DA) que permite clasificar, mediante funciones lineales, las unidades en grupos preexistentes según las similitudes registradas en las variables medidas. Este análisis permite identificar la contribución relativa de las variables a la separación de los grupos. Se usó el método de “Jackknife”, para la verificación de la clasificación, determinando el porcentaje de clasificación acertada. Estos análisis fueron realizados en el programa Past versión 3.24 (Hammer *et al.* 2001).

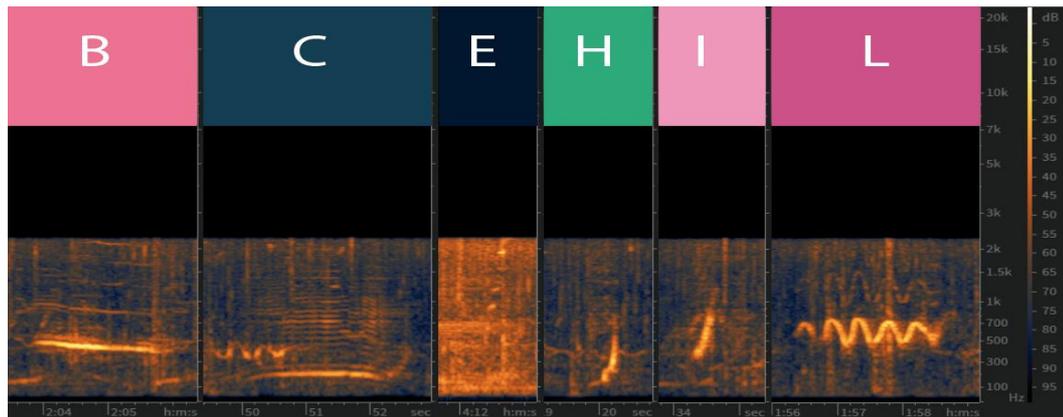
Una vez reconocidas las unidades presentes en el canto de cada año, se tomó las grabaciones restantes para clasificar sus unidades. Esta clasificación se realizó sin tomar mediciones, de manera que se tuvieran varias secuencias del canto. La determinación del resto de estructuras se hizo en base a los criterios propuestos por Cholewiak *et al* (2013), para garantizar la estandarización de la clasificación de las subfrases, frases y temas, descartando la variación individual y las secuencias residuales intermedias entre el cambio de secuencias. Se tuvo en cuenta la duración tanto de las subfrases, frases y temas como parte de la información descriptiva de la estructura del canto.

RESULTADOS

Descripción de las unidades que componen el canto del año 2017

En el año 2017 se analizó un total de 134 minutos con 26 segundos de grabación. El canto de la ballena jorobada en este periodo presentó seis unidades, clasificadas como: “down” (B), “lineal” (C), “silbo” (E), “up” (H - I) y “onda” (L) (ver Figura 5a).

a)



b)

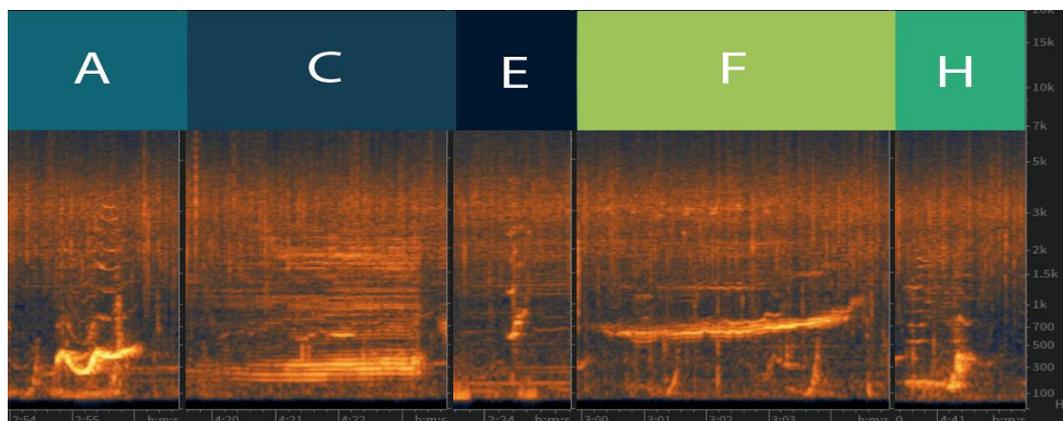


Figura 5: Espectrograma modelo de las unidades identificadas para cada año. a) Seis unidades identificadas en el año 2017. b) Cinco unidades identificadas en el año 2018.

Se midieron en total 881 unidades (ver Tabla 2), de las cuales la más abundante fue la C “silbo” (29,6%), y la unidad menos común fue la I “up” (5,3%). Las unidades B y C se caracterizaron por presentar duraciones mayores respecto a las demás. En base a los resultados del PCA se puede determinar que la variabilidad de estas unidades está fuertemente influenciada por la duración, por lo que se encuentran agrupadas en el biplot (ver Figura 6b y 8b). A pesar de este agrupamiento, el DA muestra que estos son diferentes (ver Figura 6c y 8c), posiblemente debido a las diferencias en el rango de frecuencias en las que se encontraba cada unidad. La unidad C presentaba frecuencias constantes, mientras que la B las frecuencias eran decrecientes (ver Tabla2).

Tabla 2: Resumen de la medidas tomadas para cada unidad del año 2017, donde U significa unidades, D es duración, FQMIN es la frecuencias mínima, FQMAX es la frecuencia máxima, AB es el ancho de banda, FQI es la frecuencia inicial, FQUC es la frecuencia al un cuarto de la unidad,

FQM es la frecuencia al medio de la unidad, FQTC es la frecuencia a los tres cuartos de la unidad y FQF es la frecuencia final

2017												
U	B		C		E		H		I		L	
	n=79	n=261	n=261	n=64	n=191	n=47	n=239	\bar{x}	σ	\bar{x}	σ	
	\bar{x}	σ	\bar{x}	σ	\bar{x}	σ	\bar{x}	σ	\bar{x}	σ	\bar{x}	σ
D (s)	2,3	0,6	1,8	0,6	0,2	0,1	0,5	0,2	0,3	0,2	2	0,8
FQ MIN (Hz)	326	82,2	99,8	39,6	1284	175,7	74,2	21	317,4	29,4	421,1	34,1
FQ MAX (Hz)	468,9	68,9	205,3	48,8	1416	197,4	583,8	108,2	934,8	43,8	860,9	53,8
AB (Hz)	143	62,6	105,5	46,2	132	76,8	509,6	112,3	613,1	46,7	439,8	43,4
FQI (Hz)	404,1	67,9	131,8	48	1307	183,3	89,1	37,8	317,4	29,4	533	127
FQ UC (Hz)	384	66,2	132,1	44,6	1290	179,4	93,6	46,8	320,5	33,6	534,3	124
FQM (Hz)	357,3	74	131,4	43,3	1297	174,6	94,2	50,3	341,4	65,6	534,5	119
FQ TC (Hz)	343,1	79,4	122,6	42,8	1340	193,6	114,7	82,4	410,5	122,9	515,9	110
FQF (Hz)	377,4	108,1	154,6	53,5	1392	188,8	573,8	117,6	934,8	43,8	858,8	59,4

La unidad E fue la más corta de todas y con frecuencias más altas pero constantes (ver Tabla 2), por lo que, tanto el PCA como el DA, coinciden en mostrar que las variables de frecuencia son las que están más asociadas a su agrupamiento (ver Figura 6bc).

Las unidades H, I y L fueron relativamente similares por tener un ancho de banda mayor respecto al resto (ver Tabla 2), lo que coincide con los análisis PCA y DA (ver Figura 6bc), donde se muestra que el ancho de banda está influyendo fuertemente a los tres grupos. Vale señalar que estas unidades se encontraban en rangos de frecuencia diferentes, donde las unidades H eran más bajas, las unidades I eran más altas, y unidades L correspondieron a ondas con gran variación en su frecuencia (ver Tabla 2).

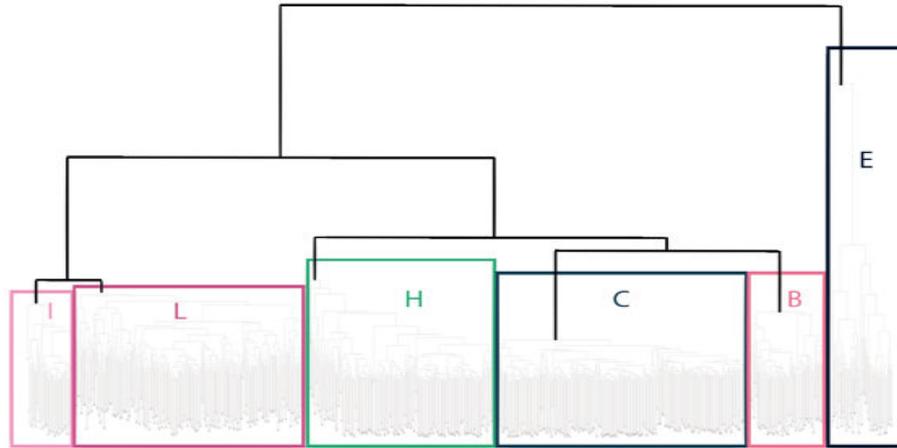
Descripción de las unidades que componen el canto del 2018

En el año 2018 se analizaron 138 minutos con 15 segundos de grabación. Como resultado se describieron cinco unidades diferentes, clasificada como: “onda” (A), “silbo” (E), “lineal” (C) y “up” (F - H); además, se identificaron tres unidades que estuvieron presentes también en el año 2017 (C – E – H) (ver Figura 5b).

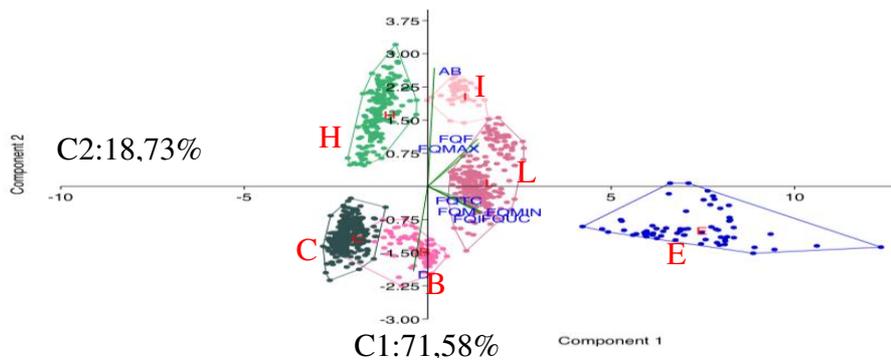
Se midió un total de 1550 unidades, siendo la unidad más abundante la E (32,2%), y la unidad menos representada la F (10,1%); La unidad A se caracterizó por tener un ancho de banda amplio y una duración intermedia con respecto a las demás unidades (ver Tabla 3). A pesar de estar fuertemente relacionada con las unidades C y H según el dendrograma (ver Figura 7a y 8a), el DA demostró que estas unidades representan grupos diferentes (ver Figura 7c y 8c). Las unidades E, C y H, al ser unidades conservadas, presentaron características similares al año precedente (ver Tabla 2 y 3). La unidad F presentó frecuencias ascendentes y una mayor duración (ver Tabla 3), aunque en los biplots de los resultados del PCA y el DA se encuentran agrupadas en el centro, lo que indicando que no hay mucha variabilidad entre estas unidades para las características medidas (ver Figura 7bc y 8bc).

La suma de los dos primeros componentes del PCA explicó más del 90% de la variabilidad de los datos en los dos años estudiados (ver Anexo 2). En los años 2017 y 2018 las variables referentes a la frecuencia estuvieron fuertemente relacionadas, especialmente la frecuencia final con la frecuencia máxima (en muchos casos coincidía); por otro lado, el DA muestra que la asignación de los grupos de unidades en cada año fue correcta en más del 99% de las veces, mientras que las asignaciones erróneas fueron en total siete para el 2017 y cuatro para el 2018 (ver Anexo 3).

a)



b)



c)

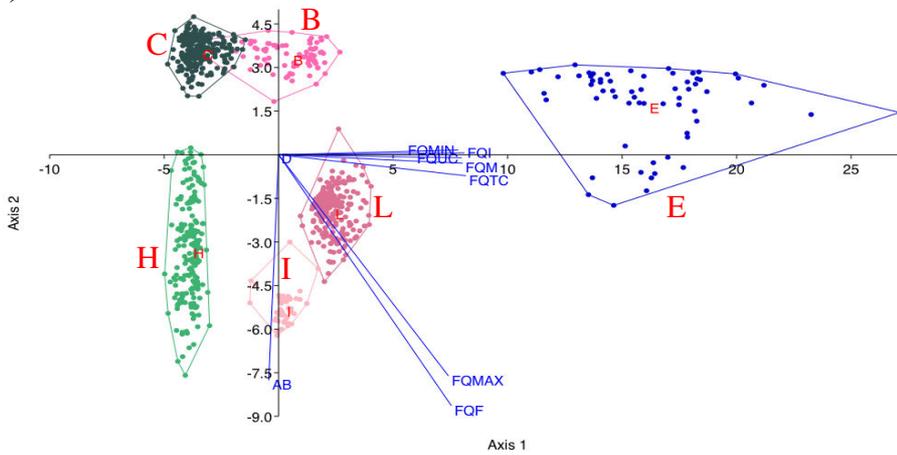
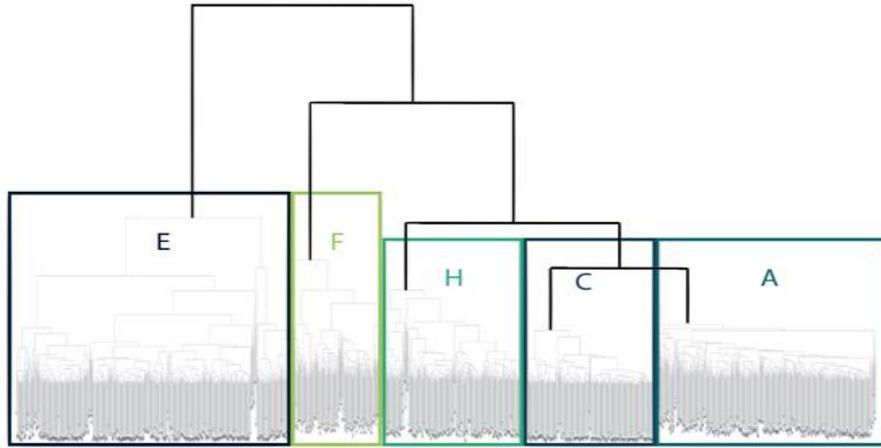
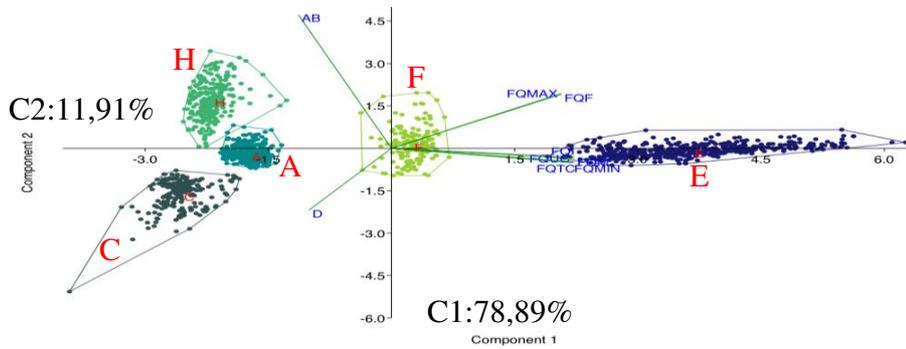


Figura 6: Gráficos de los análisis estadísticos realizados para la verificación de la clasificación de las unidades del año 2017. a) dendrograma, b) biplot del análisis de componentes principales y c) biplot del análisis discriminante

a)



b)



c)

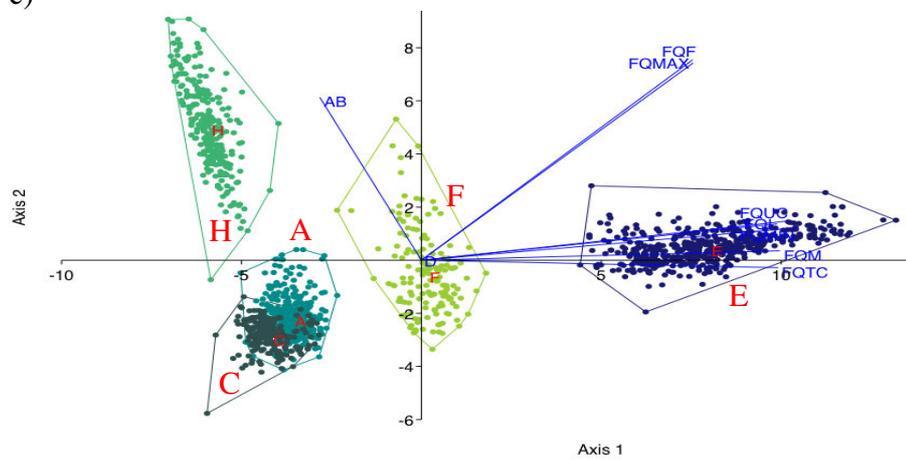
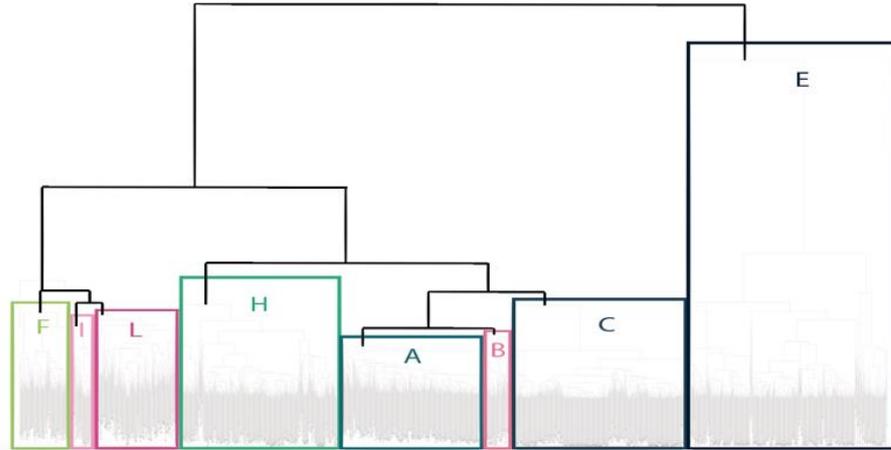
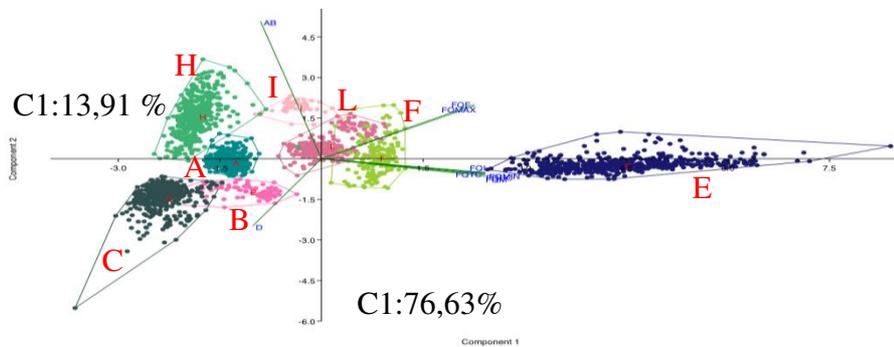


Figura 7: Gráficos de los análisis estadísticos realizados para la verificación de la clasificación de las unidades del año 2018. a) dendrograma, b) biplot del análisis de componentes principales y c) biplot del análisis discriminante.

a)



b)



c)

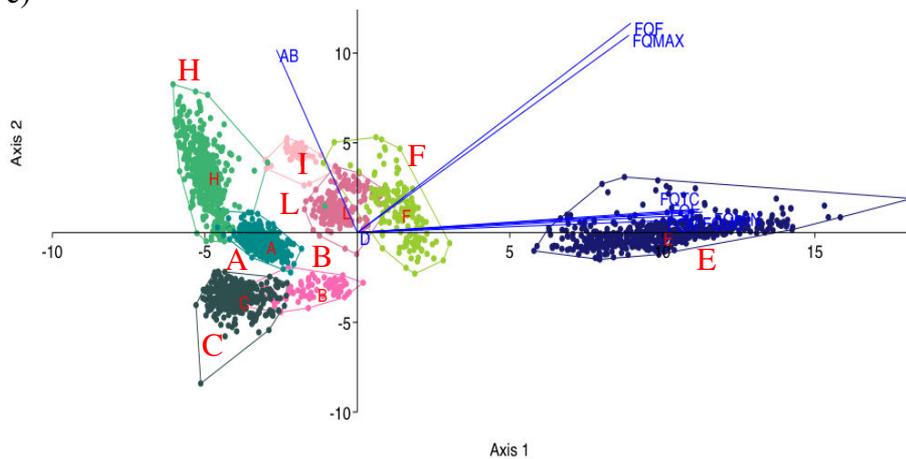


Figura 8: Gráficos de los análisis estadísticos realizados para la verificación de la clasificación de las unidades usando la información de ambos años, 2017 y 2018. a) dendrograma, b) biplot del análisis de componentes principales y c) biplot del análisis discriminante.

Determinación de subfrases y frases

De las cuatro grabaciones analizadas en el 2017, se determinaron ocho tipos de frases que constaban de la repetición continua de una subfrase (ver Figura 9).

La estructura de las subfrases fue más constante, lo que se puede ver en la baja variación de la duración y el número de unidades, mientras que las frases fueron más cambiantes, principalmente debido a la variación en el número de repeticiones de la subfrase (ver Tabla 4 y 5).

Tabla 3: Resumen de las medidas tomadas para cada unidad del año 2018, donde U significa unidades, D es duración, FQMIN es la frecuencia mínima, FQMAX es la frecuencia máxima, AB es el ancho de banda, FQI es la frecuencia inicial, FQUC es la frecuencia al un cuarto de la unidad, FQM es la frecuencia al medio de la unidad, FQTC es la frecuencia a los tres cuartos de la unidad y FQF es la frecuencia final

2018										
U	A		C		E		F		H	
	n=402		n=228		n=499		n=157		n=264	
	\bar{x}	σ	\bar{x}	σ	\bar{x}	σ	\bar{x}	σ	\bar{x}	σ
D (s)	1,3	0,3	2,3	1,7	0,2	0,4	3,1	1,1	0,8	0,4
FQ MIN (Hz)	186,4	32,2	142,8	52,4	1261, 2	151,7	605,5	47,7	66,9	32,8
FQ MA X (Hz)	493,1	46,9	211,7	45,6	1340, 9	147,2	1011,1	125,2	732,8	140,4
AB (Hz)	306,7	54,8	68,9	26,9	79,7	44	405,7	139,5	660,6	132,6
FQI (Hz)	288,7	70,6	145,2	51,8	1273, 8	150	624,8	54	143,7	39,4
FQ UC (Hz)	221,1	60,8	144	52	1265, 8	150,1	624,4	58,7	107,8	44,1
FQ M (Hz)	302,4	50,2	143,8	52,4	1264, 4	150,7	673,4	50,6	86,6	41,8
FQ TC (Hz)	334,8	39,8	143,4	52,7	1263, 7	151,4	777,4	90,6	69,7	37,7
FQF (Hz)	471,2	38,5	209,5	47,8	1329	152,2	1010,4	124,6	728	127

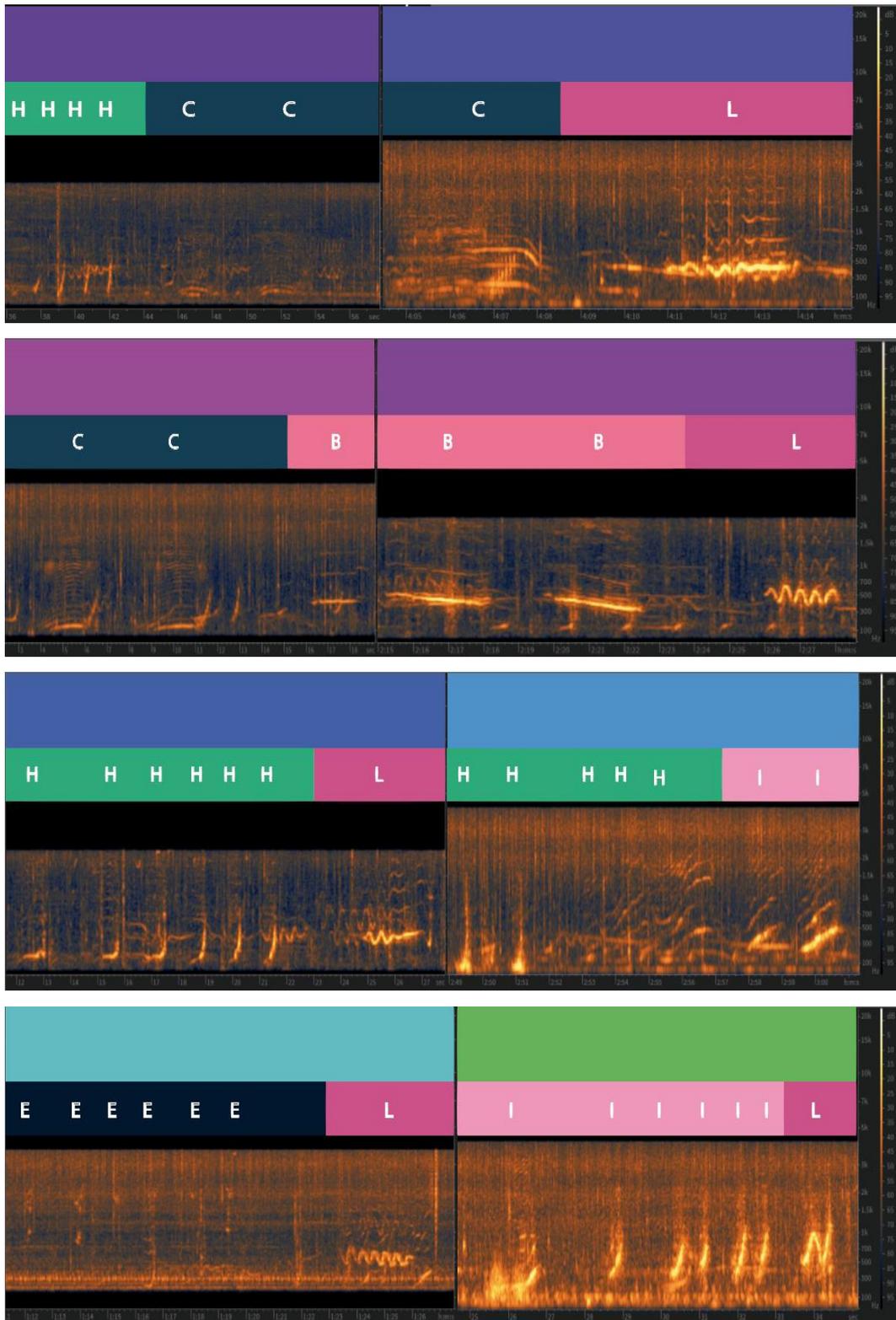


Figura 9: Espectrograma de las ocho sub frases encontradas en el canto del 2017, estos fragmentos eran repetidos consecutivamente formando así las frases que conformaron el canto. Para

Tabla 4: Resumen de las medidas de las ocho subfrases y frases del año 2017, donde n significa el número de elementos tomados en cuenta, puesto que solo dos grabaciones fueron medidas y dos

más fueron caracterizadas, el número de elementos varía según la variable. DSF es la duración de la subfrase, DF es la duración de la frase, NUSF es el número de unidades de la subfrase, NUF es el número de unidades de la frase y NRSF es el número de repeticiones de la subfrase en cada frase.

2017								
Secuencias	CCBB		BBL		HHC		CL	
	\bar{x}	σ	\bar{x}	σ	\bar{x}	σ	\bar{x}	σ
n	19		23		9		87	
DSF (s)	15,55	5,60	13,68	3,43	11,86	4,23	13,17	5,08
n	1		5		3		11	
DF (s)	88,74	-	71,16	52,87	46,05	20,68	89,26	59,26
n	30		77		11		168	
NUSF	3,03	0,89	3,39	0,93	5,64	1,57	3,20	1,13
n	3		15		3		27	
NUF	16,67	9,02	18,86	12,24	18,00	4,36	17,50	8,67
NRSF	5,33	3,51	5,57	3,37	3,00	1,00	5,50	3,34
Secuencias	HHHL		HHII		EELL		IIIL	
	\bar{x}	σ	\bar{x}	σ	\bar{x}	σ	\bar{x}	σ
n	28		3		11		12	
DSF (s)	10,15	3,89	8,41	2,89	12,81	7,19	11,77	13,33
n	7		-		3		3	
DF (s)	42,38	17,70	-	-	49,06	35,08	22,99	7,66
n	101		24		45		47	
NUSF	5,00	1,47	7,04	2,84	7,33	3,15	5,45	1,97
n	21		4		14		15	
NUF	24,10	19,03	39,25	14,57	22,08	12,68	17,14	8,03
NRSF	4,80	3,66	5,00	2,45	3,08	1,19	3,07	1,64

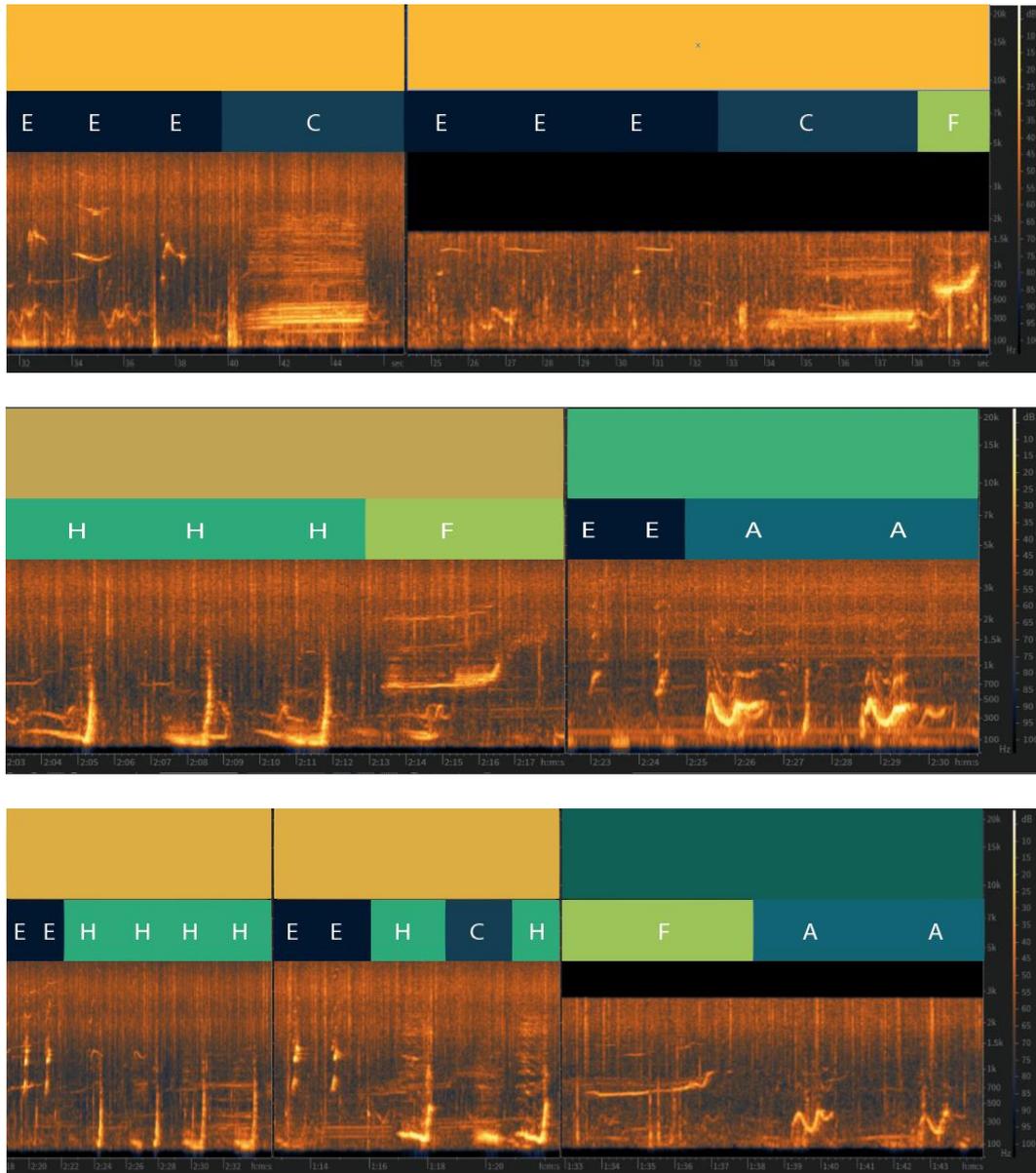


Figura 10: Espectrograma de las cinco sub frases encontradas en el canto del 2018, al igual que el año anterior, las subfrases eran repetidas varias veces formando sus respectivas frases.

En cuanto al año 2018, se caracterizaron 5 tipos de frases, cada una compuesta por la repetición consecutiva de un tipo de subfrase (ver Figura 10). Con base en las secuencias, se identificó dos frases que presentaron variaciones. Por un lado, la frase EEC, que en algunas ocasiones presentó la adición de una unidad F al final de la secuencia; y la frase EEHH, que presentó una adición de una unidad C en medio de las H's. Cabe resaltar que en el 2018 hubo una frase similar a una identificada en el año anterior (en el 2017 se registró la frase HHC y en el 2018 hubo una adición

de la unidad E y la reorganización de sus unidades, dando una estructura diferente EEHC).

En cuanto al comportamiento de las subfrases y frases en el año 2018, se puede identificar un patrón similar al año anterior, las subfrases presentan patrones constantes, mientras que las frases son más irregulares (ver Tabla 5).

Tabla 5: Resumen de las medidas de las cinco subfrases y frases del año 2018, donde N significa el número de elementos tomados en cuenta. DSF es la duración de la subfrase, DF es la duración de la frase, NUSF es el número de unidades de la subfrase, NUF es el número de unidades de la frase y NRSF es el número de repeticiones de la subfrase en cada frase.

2018										
Secuencias	FAA		EEC EEECF		EEHH EEHCH		HHHF		EEAA	
	\bar{x}	σ	\bar{x}	σ	\bar{x}	σ	\bar{x}	σ	\bar{x}	σ
N	109		105		101		14		52	
DSF (s)	11,55	7,61	11,14	4,94	8,87	4,32	13,67	2,33	8,81	7,92
N	10		16		12		2		10	
DF (s)	136,31	64,31	83,44	46,10	86,15	38,36	83,76	34,02	51,83	21,79
N	214		227		185		36		128	
NUSF	3,40	1,57	4,07	0,97	4,31	1,05	3,78	0,68	3,83	1,02
N	23		28		24		6		20	
NUF	28,83	20,23	26,43	11,03	31,17	13,23	20,67	4,50	21,00	9,74
NRSF	8,52	5,58	6,54	3,18	7,29	3,22	5,67	1,03	5,45	2,89

Caracterización de los temas

El 2017 contó con tres temas, el primero que marca el inicio de la canción; este era corto y podía presentar dos frases (CCBB-HHC), o solo una de estas, siendo la más común HHC. Luego se intercalan los dos temas restantes. El segundo tema presentó una composición estable, pues contaba con dos frases que se intercalan (CL – HHHL), presentándose casi siempre en pares. El tercer tema fue más variable, contaba con cuatro frases que no estaban siempre en el mismo orden (HHII -IIIL-EELL-BBL), y, en ocasiones, solo se registró una frase representando al tema (ver Figura 11a). La duración promedio de los temas fue variable, pues los temas uno y tres eran más

cortos que el tema dos. En cuanto al número de frases, los temas dos y tres fueron más similares entre si (ver Tabla 6).

Para el año 2018 se identificaron también tres temas. El primero presentó dos variaciones en sus secuencias (EEHH/EEHCH – FAA o EEC/EEECF – FAA). Este tema se encontraba en una o dos ocasiones en cada canción, y era seguido de dos temas intercalados (ver Figura 11b). La duración promedio de los temas estuvo entre 184,70 y 205,53 segundos; el número de frases por tema fue similar en todos los casos (ver Tabla 6).

Tabla 6: Resumen de las características de los temas, dado que cada año tuvo tres temas estos se enumeraron con la señal para diferenciar a que año pertenecían. En la tabla se ilustra la composición de cada tema. La n significa el número de elementos que se tuvieron en cuenta para el dato que se presenta, DT es la duración del tema, y NF es el número de frases que presentaba cada tema observado en las grabaciones caracterizadas.

2017						
Secuencias	1.17 CCBB - HHC		2.17 CL - HHHL		3.17 HHII - IIL-EELL-BBL	
	\bar{x}	σ	\bar{x}	σ	\bar{x}	σ
n	2		6		4	
DT (s)	41,50	19,12	171,48	134,34	52,02	45,82
n	5		13		9	
NF	1,4	0,49	3,15	2,03	3,56	2,22

2018						
Secuencias	1.18 EEHH/EEHCH – FAA EEC/EEECF - FAA		2.18 EEC/EEECF -EEHH/EEHCH – HHHF		3.18 EEAA - FAA	
	\bar{x}	σ	\bar{x}	σ	\bar{x}	σ
n	1		7		6	
DT (s)	184,705	-	205,53	76,06	186,81	82,80
n	4		14		11	
NF	2,5	1	2,77	1,36	2,91	0,83

En este trabajo se registra una gran variación individual del canto intraanual. A pesar de ello, se evidencia la presencia de una plantilla, en la cual los individuos generan su propia reinterpretación de manera particular, generando adiciones de estructuras, duraciones diferentes y repeticiones irregulares; En la figura 12 se ilustra el patrón modelo de una sesión de canto para cada año, este patrón es circular debido a la repetición cíclica.

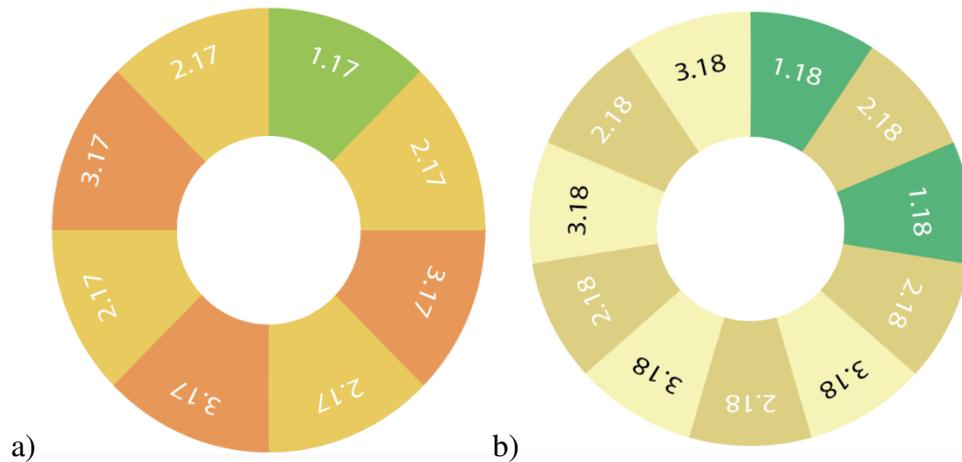


Figura 12: Modelo cíclico de una sesión de canto de ballenas jorobadas. Solo se ilustran los temas, puesto que este representa el nivel más alto de estructura. a) Modelo del año 2017 y b) Modelo del año 2018.

DISCUSIÓN

El análisis de la estructura del canto de la ballena jorobada stock G, en el Area Marina del Parque Nacional Machalilla, en los años 2017 y 2018, reveló la presencia de ocho unidades diferentes, seis y cinco respectivamente, de las cuales tres se compartían. Para el año 2017 se identificaron ocho subfrases y frases, mientras que en el 2018 solo había cinco, solo una de las frases contenía elementos similares en ambos años, aunque se termina por concluir que no es la misma, con base en los cambios de la secuencia, donde se añade una nueva unidad y se modifica el orden de las unidades (HHC en el 2017– EEHCH en el 2018). Finalmente, cada año presentó una estructura general muy similar, contando con tres temas, uno de ellos que marcaba el comienzo y los dos restantes se intercalaban un numero de veces indefinido.

En un estudio realizado en Las Perlas (Panamá), donde se caracterizó el canto de la ballena jorobada para los años 2006 y 2007, se identificaron 13 y 15 unidades respectivamente, los criterios para clasificar las unidades difirió del presente estudio por no considerar la variación individual y temporal dentro de la misma temporada, diferenciando unidades que según los criterios utilizados aquí, hubiesen sido clasificados como la misma unidad, esto debido a los objetivos de este estudio que buscaban ver la evolución del canto en un mismo periodo reproductivo; por otro lado, el número de frases fue de seis y ocho respectivamente, lo que resulta similar a la organización del canto descrita en este trabajo; finalmente el número de temas fue de cuatro y ocho, siendo mayores a lo encontrado aquí; al parecer los cantos de estos dos años consecutivos solo compartían una unidad, pero los autores hablan de situaciones semejantes a los registrados en este trabajo, como que los rangos de repetición de las subfrases y frases fue variable entre individuos, hubo frases que presentaron cambios en las secuencias entre temas, las unidades de amplitud modulada fueron más abundantes aunque notaron que las unidades de frecuencia modulada fueron en aumento a medida que transcurría la temporada; sin embargo mencionan que las frases fueron cortas (promedio de 26 segundos), mientras que en este estudio se muestra un promedio de 73,41 segundos, lo que puede deberse a una variación individual de la zona y no necesariamente a cantos diferentes (Oviedo *et al.* 2008); ya que otros estudios han mostrado que el carácter estereotipado del canto es un aspecto de la variación individual, donde se puede aumentar la duración de las frases como muestra de mayor aptitud (Mednis 1991; Guan *et al.* 1999; MacKnight *et al.* 2001; Mercado *et al.* 2003; Eriksen *et al.* 2005; Handel *et al.* 2009; Murray *et al.* 2011; Allen *et al.* 2018); también puede tener relación con el ruido ambiental, ya que las costas de Panama tienen una gran afluencia de embarcaciones, y se ha comprobado que el ruido ambiental puede generar un aumento de las repeticiones de las estructuras del canto (Buitrón-Suárez 2017).

Por otro lado, en un estudio realizado en las costas de Esmeraldas (Ecuador) que analizó los cantos de la ballena jorobada en los años 2012, 2013 y 2015, para la descripción de las unidades se aplicó un nombre descriptivo a cada unidad, la comparación de los espectrogramas mostró que muchas de las características

descriptivas que diferenciaban a las unidades eran producto de la variación individual, aun así se encontraron cinco unidades similares a las descritas en este año, lo que representa la conservación de unidades a lo largo del tiempo. Los criterios para delimitar frases y temas también fueron diferentes en este trabajo, por lo que parece haber demasiados temas, 10 para el 2012, cinco para el 2013 y seis para el 2015, y al realizar una comparación de las secuencias se concluyó que estas no presentaban similitudes (Intriago 2015).

En un estudio realizado también en el año 2013 en el Golfo de Tribugá (Colombia), se describieron 11 unidades diferentes, con ocho frases y tres temas (Perazio *et al.* 2017), resultados similares con la estructura reportada en este estudio. En relación con el patrón, el estudio concluye que cada tema se usaba en proporciones similares durante toda la canción, en contraste con lo ocurrido en este trabajo, ya que dos temas son usados en iguales proporciones y uno de ellos (el que marca el inicio del canto) es poco usado; lo que podría estar revelando un cambio en la plantilla de la estructura general del canto en esta población (Perazio *et al.* 2017); posiblemente, con los años se redujo el uso de uno de los temas, dejándolo como el que marca el comienzo de la sesión del canto.

Finalmente, el estudio de Duque (2018), realizado en Perú y Colombia, confirma que la canción de la ballena jorobada es la misma a lo largo de las diferentes zonas de reproducción dentro del mismo stock. Durante toda la temporada de apareamiento; muestra también una clasificación muy minuciosa del canto del 2017, pero finalmente concluye que existe una plantilla generalizada usada por la población y demuestra la existencia de patrones espaciales y temporales diferentes, además de variaciones individuales. En el presente estudio se encontraron consistencias con respecto a la estructura descrita por Duque (2018), puesto que analiza el mismo año que se describe en el presente trabajo, no coinciden el número de unidades, frases, o temas, puesto que su descripción los clasifica con mayor detalle; sin embargo, la comparación de los espectrogramas y de las secuencias, demuestran que la información parte de la misma plantilla del canto para ese año.

Al comparar las unidades descritas en este estudio con los demás estudios realizados en el stock G (desde el 2008), se pudo resaltar que la unidad más

conservada en el tiempo fue la unidad C, pues se encuentra en todos los años en los que hay registros para esta población de ballenas, otras de las unidades más comunes fueron la H, E y F (ver Tabla 7). Cabe resaltar que los espectrogramas no eran exactamente iguales en todos los casos, y la comparación se basó en el supuesto de la gran variación individual y de la evolución de la unidad a lo largo del tiempo (Oviedo et al. 2008; Intriago 2015; Perazio et al. 2017; Duque 2018).

Tabla 7: Resumen de las unidades repetidas y los nombres que se les dan en cada estudio analizado del canto de la ballena jorobada a través del tiempo en la población del Pacífico sudeste (stock G).

	2006 (Oviedo <i>et al.</i> 2008)	2007 (Oviedo <i>et al.</i> 2008)	2012 (Intriago 2015)	2013 (Intriago 2015)	2013 (Perazio <i>et al.</i> 2017)	2015 (Intriago 2015)	2017 (Duque 2018)	2017	2018
A	-	-	-	-	-	-	-	-	A
B	F	-	-	Dcry	LD	-	I	B	-
C	E, I, J, K, L	1, 4,6, C, D, 3*	Groan, large groan, Moan	Groan, large groan, Moan	A	Groan, large groan, Moan	C, M, R, B	C	C
E	-	9	Squeat	Squeat	-	Squeat	J+J, n, Q-O	E	E
F	-	-	-	Amoan	LU	Amoan	-	-	F
H	D	-	Whoop	Whoop	F	Whoop	S, V, WW	H	H
I	-	8	-	-	-	-	A', D, J, K, H	I	-
L	-	-	-	-	-	-	A, GG, I, P, N, F	L	-

En cuanto a la interacción con otras poblaciones, se piensa que puede ser más común el intercambio de machos con las poblaciones del Atlántico suroeste, puesto que las zonas de alimentación pueden estar muy cerca o solaparse; además, existen registros fotográficos que identifican individuos en las costas ecuatorianas visitando costas del Brasil (Acevedo *et al.* 2006; Robbins *et al.* 2011).

Vale señalar que la comparación con otros estudios solo identificó la unidad C como compartida entre las poblaciones en los años 2000 y del 2005 al 2010 (Arraut & Vielliard 2004; Rossi-Santos 2012). En los estudios de esta población también se nota la problemática de la subjetividad de las descripciones, pero en el trabajo de Rossi-Santos (2012), en el que se comparan el canto de 6 años consecutivos se

demuestra que el número de unidades (nueve) es consistente con lo expuesto en el presente trabajo, sin embargo se usaron criterios diferentes para la definición de temas en lugar de frases, pues se describen un gran número de temas, y no se describe la estructura de subfrase, lo que puede indicar que los criterios de delimitación de las estructuras fue diferente.

Por lo expuesto anteriormente la población del Atlántico suroeste podría no presentar tanta interacción con la población del Pacífico sureste, como lo hace con la población del Atlántico sureste, aunque para afirmarlo se debería realizar comparaciones de los años consecutivos, ya que la información existente no es comparable temporalmente (Darling & Sousa-Lima 2005).

Otra de las poblaciones con las que existe un posible vínculo es la de Oceanía. Solo se encontró un estudio de la descripción del canto, que analizaba su estructura durante los años 90's, al comparar los espectrogramas con los del presente estudio se encuentran dos unidades semejantes, la C (codificada como A), y la F (codificada como B). En esta población se describen cantos altamente conservados entre años (Eriksen *et al.* 2005), mientras que, en la población del Pacífico sudeste (stock G), la estructura del canto parece cambiar completamente cada año, presentando apenas unas cuantas unidades conservadas y no estructuras completas (Intriago 2015).

Las interacciones entre poblaciones parecen ser más complejas en el Pacífico sur, ya que existe más cercanía con las poblaciones de Oceanía y Australia, y el canto tarda en ser aprendido un año (Eriksen *et al.* 2005). Mientras que el canto está bastante sincronizado en el norte, por lo que se le ha denominado el canto del Pacífico ya que los cantos se comparten en las poblaciones de México, Hawaii, y Japón, y cambian de manera simultánea, por razones que aún se desconocen, lo que podría indicar que las interacciones culturales y el aprendizaje son mucho más activos en el Pacífico norte (Helweg *et al.* 1990; Guan *et al.* 1999; Maeda *et al.* 2000). Si el aislamiento cultural es mayor en el Pacífico sur, puede que las migraciones entre poblaciones sean más escasas y por lo tanto exista un aislamiento genético que podría derivar en procesos de especiación en el futuro.

La calidad cualitativa de la descripción que se hace de las unidades de los cantos en la gran mayoría de trabajos dificulta las comparaciones sobre todo de los

espectrogramas que no muestran con claridad las características del canto, sino que ilustran el sonido. Esta representación gráfica puede estar sujeta al programa usado o a los valores de nitidez aplicados por cada investigador, por lo que dos unidades pueden parecer iguales, cuando en realidad no lo son (Darling & Sousa-Lima 2005; Oviedo *et al.* 2008; Cholewiak *et al.* 2013; Garland *et al.* 2017; Duque 2018; Madhusudhana *et al.* 2018). Para evitar la subjetividad y el error en la delimitación de unidades, varios autores recomiendan el uso de distintos métodos para determinar correctamente a las unidades; por ejemplo, Maeda *et al.* (2000) realiza una clasificación subjetiva por las características de las unidades, luego aplica mediciones a estas unidades, como las realizadas en este trabajo, y posteriormente ejecuta un análisis PCA para clasificar las unidades con base en su agrupación. Este trabajo, realizado en Japón, demuestra la importancia de la clasificación cuantitativa, ya que al hacerse comparaciones de los espectrogramas del presente estudio, se encontró coincidencias de la unidad C con cinco unidades (A, G, C, O, Q) y la unidad E con tres unidades (P, RRAT-, R), pero al comparar las medidas se descartaron algunas de las coincidencias visuales, donde finalmente se encontró que la C concuerda con la unidad O y la E con la R. En este contexto, se resalta que es probable que algunas de las coincidencias visuales entre espectrogramas que se describen en este trabajo, pueden no ser correctas, pero no se pueden descartar, debido a la ausencia de medidas cuantitativas de los demás estudios.

A pesar de que se sugiere la medición de las unidades, para permitir una comparación más objetiva entre estudios, algunos trabajos (Mednis 1991; MacKnight *et al.* 2001; Oviedo *et al.* 2008; Munger & Lammers 2012) toman las medidas de las unidades a lo largo de todos los armónicos, aunque de esta manera no se logra encontrar las diferenciaciones entre unidades mediante análisis estadísticos, ya que la presencia de armónicos y sus frecuencias máximas pueden estar relacionados con la cercanía del micrófono con respecto al individuo grabado, y no a diferencias concretas entre unidades, por lo que al momento de analizarlas, todas las unidades se encontrarán en un rango muy similar de frecuencia, diferenciándose entre sí por rasgos sutiles, que no se tendrían presentes si se mide la unidad con todos sus armónicos.

Los diferentes criterios de los investigadores al momento de clasificar y delimitar las estructuras del canto generan dificultad al comparar estudios, ya que algunos usan criterios muy estrictos para designar unidades (Duque 2018;), mientras que otros son más amplios (Intriago 2015); Lo ideal es considerar que, a lo largo de la temporada se darán cambios tanto en la duración como en algunas características de las unidades y su configuración dentro de la estructura del canto. En el caso de que se desee describir el canto general de la población en un año determinado, se puede ser más estricto en la delimitación de la estructura. Finalmente, vale mencionar que también existen variaciones individuales que, en algunos casos pueden ser pequeñas y en otros son mucho más notables. Se han descrito casos de canciones aberrantes (que no concuerdan en nada con las características generales del canto para esa población en ese año específico), por lo que es importante analizar el canto de varios individuos en diferentes fechas (distribuidas en la duración de la temporada de apareamiento), para lograr descifrar las características de la plantilla general de la estructura del canto (Eriksen *et al.* 2005; Cholewiak *et al.* 2013; Duque 2018).

Según Cholewiak *et al.* (2013) la delimitación de frases y temas es un asunto debatible. Ellos mencionan que algunos investigadores lo hacen en función de su duración, pero esto puede ser poco útil, ya que las frases se componen de repeticiones de subfrases, y estas pueden llegar a repetirse de manera muy variable, de modo que las frases no llegan a tener la misma duración, incluso dentro del mismo individuo; así, si la frase presenta una duración variable, por consiguiente, también los temas. Se presume que el aumento de la duración de las estructuras del canto le dan mayor atractivo al macho que los produce, lo que puede estar relacionado con el esfuerzo que se requiere para mantener el ritmo del canto al hacerlo más prolongado (MacKnight *et al.* 2001; Arraut & Vielliard 2004; Cholewiak *et al.* 2013; Chereskin 2018). De acuerdo a Cholewiak *et al.* (2013) la mejor manera de delinear frases y temas es encontrar las transiciones entre ellas, considerando que pueden existir residuos de unidades en cada intersección. También se sugiere que el fin de una canción completa se determina por una pausa más larga que las que existen entre unidades dentro del canto (Cholewiak *et al.* 2013)

Otro aspecto importante para delimitar la estructura del canto en ballenas jorobadas es el basarse en su carácter estereotipado, ya que esta es una característica común en todas las poblaciones estudiadas (Mednis 1991; Guan *et al.* 1999; MacKnight *et al.* 2001; Mercado *et al.* 2003; Eriksen *et al.* 2005; Handel *et al.* 2009; Murray *et al.* 2011; Allen *et al.* 2018). Esta característica está relacionada con la efectividad de la transmisión del canto en el medio acuático (Murray *et al.* 2011), aunque también podría estar asociada a la memoria del individuo, pues se considera que el ritmo de la combinación de unidades permite que el canto sea aprendido con mayor facilidad (Handel *et al.* 2009). Tanto las unidades, como las subfrases se repiten consecutivamente de manera variable por que la estructura permite esa flexibilidad con el fin de que todos los individuos de una población puedan tener la misma plantilla, lo que permite que se reconozcan, pero también permite que exista individualidades en la estructura del canto, que podría ser una característica de selección para las hembras (Mednis 1991; Guan *et al.* 1999; MacKnight *et al.* 2001; Mercado *et al.* 2003; Eriksen *et al.* 2005; Handel *et al.* 2009; Murray *et al.* 2011; Allen *et al.* 2018).

La variación del canto es muestra de su constante evolución, la cual es importante para mantener su función a lo largo del tiempo (Murray *et al.* 2011). Existen dos tipos de evolución del canto en las ballenas jorobadas, intra e interanual (Eriksen *et al.* 2005; Intriago 2015; Duque 2018). Inter anualmente los cambios pueden ser radicales o paulatinos (Cerchio *et al.* 2001; Arraut & Vielliard 2004; Intriago 2015; Garland *et al.* 2017). En la población del Pacífico sureste parece que los cambios entre años son absolutos, es decir que solo restan algunas unidades, pero las frases y temas son totalmente diferentes, aunque la plantilla general (que determina los patrones de la estructura) parece coincidir en su organización, mientras que en poblaciones como Brasil, Oceanía o el Pacífico norte, interanualmente se llegan a compartir temas enteros (Cerchio *et al.* 2001; Arraut & Vielliard 2004; Intriago 2015; Garland *et al.* 2017). Sin embargo, esta aseveración deberá ser verificada con estudios que comprendan información de varios años consecutivos. Se desconoce la razón por la cual en algunas poblaciones el canto es conservado en el tiempo y en otras cambia cada temporada completamente, lo que demuestra que las diferentes poblaciones presentan comportamientos que se han ido diferenciando

entre si, formando culturas con patrones distintos, y reafirmando su proceso de especiación.

La transmisión cultural y el aprendizaje de la ballena jorobada contiene muchas incógnitas. Gracias a los estudios realizados en poblaciones del Pacífico norte, se ha evidenciado que existe una sincronización de la evolución del canto de diferentes zonas de reproducción (Helweg *et al.* 1990; Guan *et al.* 1999; Maeda *et al.* 2000). Existen múltiples hipótesis para explicar esto, pero la más aceptada es que el canto posee un cambio programado, que se acuerda antes de realizar la migración, y que tiene relación con como los individuos buscan innovar en la producción de su canto para ser más llamativos para las hembras (Cerchio *et al.* 2001). También se cree que el canto puede viajar cientos de kilómetros en el agua, lo cual podría explicar cómo diferentes poblaciones contienen unidades similares. Por ejemplo, se sabe que las unidades con amplitud alta viajan más distancia que las demás y así consiguen atraer más parejas (Cerchio *et al.* 2001; Murray *et al.* 2011), lo que puede explicar porque las unidades H y F, al tener una de las amplitudes mayores, fueron conservadas dentro de la población; sin embargo, de las unidades descritas en este estudio, las que más se compartían entre poblaciones no presentaban estas características.

La transmisión del canto es más efectiva en aguas poco profundas, ya que este ambiente favorece la difusión del sonido dentro de la misma población, especialmente de unidades de frecuencias altas (como la unidad E, otra de las unidades más conservadas), pero se han reportado pequeños cambios en la frecuencia y volumen de las unidades cuando hay variaciones en la profundidad y características del suelo marino (Mercado *et al.* 2003). Por otro lado, estudios en aguas profundas demuestran que unidades con frecuencias bajas (menores a 100 Hz) y con muchos armónicos, pueden viajar más de 300km, pero su transmisión es lenta (Cerchio *et al.* 2001). Existen registros de transmisión entre poblaciones de Australia y las islas del Pacífico sur con coincidencias, es decir temas enteros que aparecen en una de las poblaciones y que uno o dos años después son aprendidos y utilizados en la población más cercana (Cerchio *et al.* 2001; Garland *et al.* 2017). Tal vez, por esa razón la unidad C fue observada en varias poblaciones distantes y con las que no hay probabilidad de intercambio poblacional (Helweg *et al.* 1990;

Guan *et al.* 1999; Maeda *et al.* 2000; Arraut & Vielliard 2004; Darling & Sousa-Lima 2005; Eriksen *et al.* 2005; Rossi-Santos 2012). Esta es una de las unidades más conservadas en el tiempo según las observaciones y comparaciones de los espectrogramas de los cantos de la ballena jorobada del stock G a lo largo del tiempo (Oviedo *et al.* 2008; Intriago 2015; Perazio *et al.* 2017; Duque 2018), quizás debido a la ventaja en la transmisión que esta presenta, debido a su baja frecuencia y la presencia de armónicos.

Dada la gran importancia de la comunicación acústica en la ballena jorobada, se puede entender que estos animales sean muy sensibles al ruido. Estas perturbaciones antrópicas y naturales que generan contaminación acústica podrían provocar que las ballenas alteren la estructura de su canto, pretendan cambiar de dirección y alejarse del origen del ruido, dejen de emitir vocalizaciones o busquen subir la intensidad o bajar las frecuencias del canto para mejorar su transmisión, lo que podría repercutir en una gran afectación en el comportamiento reproductivo de esta especie (Risch *et al.* 2012; Buitrón-Suárez 2017); lo que debería ser evaluado con detenimiento, considerando que las embarcaciones de turismo y comerciantes producen una gran cantidad de ruido en el área de alimentación y reproducción de estas poblaciones. Español-Jiménez & Van Der Shaar (2018) mostraron que el canto de la ballena es más activo en las noches y en el crepúsculo, lo que podría tener relación con la actividad antrópica, por lo tal se recomienda realizar grabaciones durante horas de menor actividad humana.

Finalmente, cabe resaltar que la importancia de este estudio no solo está en la comparación de los cantos dentro de la población y con otras poblaciones para conocer sobre posibles intercambios de individuos y el papel del canto como uno de los comportamientos reproductivos más significativos de las ballenas jorobadas. También es importante determinar la influencia que tiene el conocimiento sobre el canto de las ballenas en la percepción humana, ya que generan simpatía hacia la especie. Se considera que la comprensión del comportamiento reproductivo permite a las poblaciones humanas participar de manera activa en la conservación de las ballenas como especie emblemática de sus pueblos, entender que estos animales también poseen una cultura, un modo de aprendizaje, de comunicación y de interacción genera empatía y un sentido de empoderamiento clave para la

generación de planes de conservación, teniendo en cuenta a la comunidad (Perazio *et al.* 2017).

CONCLUSIONES

Mediante el presente estudio se consiguió obtener una visión general de la estructura del canto de la ballena jorobada de la población del Pacífico sudeste, específicamente obtenido en la Reserva Marina del Parque Nacional Machalilla, para cada año estudiado, y se pudo determinar que tres unidades se mantuvieron conservadas entre los años 2017 y 2018.

Al comparar los espectrogramas con los obtenidos en otros estudios en la misma población, la unidad C estuvo presente siempre en todas las poblaciones. De acuerdo a las características acústicas que presenta, esta unidad podía resultar más conservada por la función que cumple, al ser de frecuencia baja con múltiples armónicos, viaja una mayor distancia en el medio marino. Además, la unidad C fue la única encontrada en otras poblaciones del mundo, lo cual parece confirmar que es una de las unidades más importantes dentro de la funcionalidad del canto.

Las unidades H y F tenían un ancho de banda mayor (en especial la H), por lo que podrían difundirse de mejor manera en el agua, y la unidad E presentó múltiples armónicos, pero frecuencias altas, lo que le permite alcanzar mayores distancias en aguas poco profundas.

Con respecto a otras poblaciones, el stock G difiere por generar un canto distinto cada año, mientras que en otros lugares se han reportado que los cambios son paulatinos, aquí no se encontraron realmente subfrases ni frases compartidas entre años, aunque es recomendado realizar más estudios para confirmar esta información.

Se pudo evidenciar que el canto parte de una plantilla generalizada, altamente estereotipada, lo que podría facilitar el aprendizaje y memorización entre los diferentes individuos, pero también genera posibilidades de variación y originalidad, características necesarias para atraer a las hembras, resaltando el carácter competitivo dentro del rol reproductivo del comportamiento de la ballena jorobada.

Sin contar las características de la secuencia del canto, la estructura resulto muy similar en ambos años, especialmente la organización de los temas y el carácter estereotipado de las subfrases y frases.

No se encontró mucha similitud entre los cantos de la población del Pacífico sudeste, con respecto a las demás poblaciones, aunque es necesario realizar más estudios que analicen cantos de los mismos años

RECOMENDACIONES

Buscar que la tecnología sea un aliado en las investigaciones bioacústicas, generando innovación en el desarrollo de equipos de registro y equipos para el análisis de información sonora; Mientras la información sea mas precisa y su análisis sea mas eficiente, se podrá generar un fomento al estudio del canto de la ballena jorobada, principalmente en la población del Pacífico sudeste, que permita obtener un mejor entendimiento del comportamiento de este animal tan emblemático.

Se requiere estandarizar los métodos de análisis del canto en todas las poblaciones de ballenas jorobadas para poder realizar comparaciones de cantos en cantos obtenidos con las mismas metodologías, para reducir errores que podrían asociarse a los métodos de grabación y no a los cambios reales entre las poblaciones y/o años

En el caso de la población del Pacífico sudeste, se debe centrar en conseguir alianzas con investigadores que estudien las poblaciones del atlántico suroeste y del resto del Pacífico sur, para poder obtener comparaciones entre poblaciones mas fiables.

Es necesario aplicar métodos estadísticos más estrictos para el análisis de la estructura del canto, que garanticen una mayor objetividad en la clasificación de sus componentes.

Es preciso el desarrollo de softwares especializados como herramientas informáticas que analicen el canto de los cetáceos, y demás formas de comunicación acústicas marinas, que permitan el manejo de grabaciones, limpieza de audios, identificación

automática de unidades acústicas, medición automática de características acústicas, entre otros.

Al realizar descripciones del canto de la ballena jorobada, se deben analizar grabaciones comprendidas equitativamente en el periodo que dura la temporada reproductiva, y en la medida de lo posible, identificando a los individuos que realizan el canto, lo cual enriquecería ampliamente la información que se pueda obtener, puesto que así, la descripción permitirá comprender la variación individual y la evolución temporal del canto en un mismo periodo reproductivo.

LITERATURA CITADA

Acevedo JA, Aguayo-Lobo A, Pastene LA. 2006. Filopatría de la ballena jorobada (*Megaptera novaeangliae* Borowski, 1781), al área de alimentación del estrecho de Magallanes. Rev. Biol. Mar. Oceanogr. 41:11–19.

Albertson GR, Friedlaender AS, Steel DJ, Aguayo-Lobo A, Bonatto SL, Caballero S, Constantine R, Cypriano-Souza AL, Engel MH, Garrigue C. 2018. Temporal stability and mixed-stock analyses of humpback whales (*Megaptera novaeangliae*) in the nearshore waters of the Western Antarctic Peninsula. Polar Biol. 41:323–340.

Allen JA, Garland EC, Dunlop RA, Noad MJ, Allen JA. 2018. Cultural revolutions reduce complexity in the songs of humpback whales. Proceedings. B:2–7.

Arraut EM, Vielliard JME. 2004. The song of the Brazilian population of Humpback Whale *Megaptera novaeangliae*, in the year 2000: individual song. An. Acad. Bras. Cienc. 76:373–380.

Barrows E. 2001. Animal behavior desk reference. A dictionary of animal behavior, ecology, and evolution. 2nd ed. PRESS CRC, editor. EEUU.

Bettridge S, Baker CS, Barlow J, Clapham PJ, Ford M, Gouveia D, Mattila DK, Pace RMI, Rosel PE, Silber GK, et al. 2015. Status review of the humpback whale (*Megaptera novaeangliae*) under the endangered species act. NOAA-TM-NMFS-SWFSC-540. NOAA Tech. Memo. NMFS:240 pp.

Buitrón-Suárez AP. 2017. El impacto de terremotos al comportamiento acústico de Ballenas Jorobadas, *Megaptera novaeangliae*, en la Costa Ecuatoriana Proyecto de investigación presentado como requisito para la obtención del

título de Licenciada Bióloga con especialización en Ecología Marina.
Universidad San Francisco de Quito.

- Cabrera E, Galletti B. 2006. Parámetros para determinar los efectos del turismo de avistamiento sobre cinco poblaciones de cetáceos en Chile. Memorias del Taller de Trabajo sobre el Impacto las Actividades Antropogénicas en Mamíferos Marinos en el Pacífico Sudeste:60–64.
- Castro C, Aguayo-Lobo A, Allen J, Dalla Rosa L, Kaufman G, Forestell P, Scheidat M, Secchi E, Santos M. 2011. Humpback Whale Identification Of Ecuador and Their Migratory Connections To Antarctica (Area I and II). SC/64/SH23:6–10.
- Castro C, Kaufman G, Ponce H. 2015. Whalewatching growth and socioeconomic development of communities in the Machalilla National Park - Ecuador. International Whale Commission 64:3–14.
- Cerchio S, Jacobsen JK, Norris TF. 2001. Temporal and geographical variation in songs of humpback whales, *Megaptera novaeangliae*: Synchronous change in Hawaiian and Mexican breeding assemblages. Anim. Behav. 62:313–329.
- Clark CW, Clapham PJ. 2004. Acoustic monitoring on a humpback whale (*Megaptera novaeangliae*) feeding ground shows continual singing into late spring. Proc. R. Soc. B Biol. Sci. 271:1051–1057.
- Chereskin EP. 2018. Southern Hemisphere Humpback Whale Song in Pacific Central America. UVM Honors College Senior Theses. University of Vermont. 237. <https://scholarworks.uvm.edu/hcoltheses/237>
- Cholewiak DM, Sousa-Lima RS, Cerchio S. 2013. Humpback whale song hierarchical structure: Historical context and discussion of current classification issues. Marine Mammal Science 29:3.
- Dawbin W, Eyre E. 1991. Humpback whales' songs along the coast of western Australia and some comparison with east coast songs. Mem. Queensl. Museum 30:249–254.
- Darling JD, Berube M. 2001. Interactions of Singing Humpback Whales with Other Males. Mar. Mammal Sci. 17:570–584.
- Darling JD, Sousa-Lima RS. 2005. Songs indicate interaction between humpback whale (*Megaptera novaeangliae*) populations in the western and eastern South Atlantic Ocean. Mar. Mammal Sci. 21:557–566.
- Duchez K, Cabrera A, Ortiz J. 2007. Estudio sobre la migración de ballenas jorobadas (*Megaptera novaeangliae*) en el Oeste del Pacífico de Guatemala. Ecuatoriana Proyecto de investigación presentado como requisito para la

obtención del título de Licenciados Biólogos. Universidad de San Carlos de Guatemala.

- Dudzinski K, Thomas J, Gregg J. 2009. Communication in Marine Mammals. En: Perrin W, Würsig B, Thewissen JGM, editores. Encyclopedia of marine mammals. Segunda edición. p. 260.
- Duque E. 2018. Following the song hit: Using the evolution of humpback whale (*Megaptera novaeangliae*) song structure to infer regional movements in southeast Pacific. Universidad de Antioquia. Instituto de Biología. Trabajo de grado para obtener el título de Biólogo.
- Eriksen N, Miller LA, Tougaard J, Helweg DA. 2005. Cultural change in the songs of humpback whales (*Megaptera novaeangliae*) from Tonga. Behaviour 142:305–328.
- Español-Jiménez S, Van Der Shaar M. 2018. First record of humpback whale songs in Southern Chile: Analysis of seasonal and diel variation. Mar. Mammal Sci. early view 00:1–16. doi:10.1111/mms.12477.
- Frankel, A. 2009. Sound production. In W. Perrin, B. Würsig, & J. G. M. Thewissen (Eds.), Encyclopedia of marine mammals (segunda ed, pp. 1056–1071).
- Garland EC, Rendell L, Lilley MS, Poole MM, Allen J, Noad MJ, Garland EC, Rendell L, Lilley MS, Poole MM, et al. 2017. The devil is in the detail: Quantifying vocal variation in a complex, multi-levelled, and rapidly evolving display. Acoustical Society of America 142:460–472.
- Guadamud K. 2017. Observación de ballenas jorobadas (*Megaptera novaeangliae*) y su incidencia dentro de las actividades turísticas de la parroquia Puerto Cayo del cantón Jipijapa. Tesis de Grado Previo a la Obtención del Título de Ingeniero en Ecoturismo, Universidad Estatal del Sur de Manabí.
- Guan S, Takemura A, Koido T. 1999. An introduction to the structure of humpback whalesong off Ryukyu islands. Aquat. Mamm. 25:35–42.
- Hammer, Harper DAT, Ryan PD. 2001. Past: Paleontological Statics software package for education and data analysis. Palaeontologia Electronica. :4(1):9pp. Version: 3.24
- Handel S, Todd SK, Zoidis AM, Todd SK. 2009. Rhythmic structure in humpback whale (*Megaptera novaeangliae*) songs: Preliminary implications for song production and perception. Acoustical Society of America. 125:225–230.
- Helweg D, Herman L, Yamamoto S, Forestell P. 1990. Comparison of songs of humpback whales (*Megaptera novaeangliae*) recorded in Japan, Hawaii, and Mexico during the winter of 1989. Sci, Rep. Cetacean Res 1:1–20.

- Herman, L. M. 2017. The multiple functions of male song within the humpback whale (*Megaptera novaeangliae*) mating system: review, evaluation, and synthesis. *Biological Reviews*, 92(3):1795–1818.
- Hernández-Sampieri R, Fernández Collado C, Baptista Lucio M del P. 2010. Metodología de la investigación - Naval. Metodología de la investigación.:656. doi: - ISBN 978-92-75-32913-9.
- Intriago M. 2015. Evolution in song patterns of humpback whales (*Megaptera novaeangliae*) during the breeding season 2012, 2013, and 2015 off the coast of Esmeraldas, Ecuador. Trabajo de Titulación presentado como requisito para la obtención del título de Licenciada en Ecología Marina, Universidad San Francisco De Quito.
- MacKnight FL, Cato DH, Noad MJ, Grigg GC. 2001. Qualitative and quantitative analyses of the song of the East Australian population of humpback whales. *Mem. Queensl. Museum* 47:525–537.
- MAE. 2009. Plan de Manejo del Parque Nacional Machalilla. Ecuador (Disponible en: <https://doi.org/10.5902/22361308115005> Consultado el: 20 de abril de 2018)
- MAE. 2017. 38 mil turistas realizaron avistamiento de ballenas jorobadas en Manabí. Dir. Comun. Minist. del Ambient. (Disponible en: <http://www.ambiente.gob.ec/38-mil-turistas-realizaron-avistamiento-de-ballenas-jorobadas-en-manabi/> Consultado el: 20 de abril de 2018)
- Maeda H, Koido T, Takemura A. 2000. Principal component analysis of song units produced by humpback whales (*Megaptera novaeangliae*) in the Ryuku region of Japan. *Aquat. Mamm.* 26:202–211.
- Madhusudhana SK, Chakraborty B, Latha G. 2018. Humpback whale singing activity off the Goan coast in the Eastern Arabian Sea. *Bioacoustics* 4622:1–16.
- Mednis A. 1991. An acoustic analysis of the 1988 song of the humpback whale *Megaptera Novaeangliae*, off eastern Australia. *Mem. Queensl. Museum* 30:323–332.
- Mercado E, Herman LM, Pack AA. 2003. Stereotypical sound patterns in humpback whale songs: Usage and function. *Aquat. Mamm.* 29:37–52.
- Munger L, Lammers M. 2012. Humpback whale (*Megaptera novaeangliae*) song occurrence at American Samoa in long-term passive acoustic recordings, 2008 – 2009. *Acoust. Soc. Am.* 132:2008–2009.
- Murray A, Cerchio S, McCauley R, Jenner CS, Razafindrakoto Y, Coughran D, McKay S, Rosenbaum H. 2011. Minimal similarity in songs suggests limited

exchange between humpback whales (*Megaptera novaeangliae*) in the southern Indian Ocean. *Marine Mammal Science*, 2012; 28 (1): E41

NOAA. 2015. Humpback Whale (*Megaptera novaeangliae*). (Disponible en: <http://www.nmfs.noaa.gov/pr/species/mammals/whales/humpback-whale.html> Consultado el: 20 de abril de 2018)

Oksanen J, Blanchet G, Friendly M, Kindt R, Legendre P, McGlenn D, Minchin PR, O'Hara RB, Simpson GL, Solymos P, Stevens, MHH, Szoecs E, Wagner H. 2017. Community Ecology Package, Package: vegan. Version 2.4-5. <https://cran.r-project.org>, <https://github.com/vegandevs/vegan>.

Oña, J. 2013. Humpback whale habitat preference and occurrence of songs in relation to depth and sea bottom structure off the coast of Esmeraldas, Ecuador. Tesis de grado presentada como requisito para la obtención del título de Máster en Ecología Tropical, Universidad San Francisco de Quito.

Oviedo L, Guzman HM, Flórez-González L, Alzueta JC, Mair JM. 2008. The song of the Southeast Pacific Humpback Whale (*Megaptera novaeangliae*) off Las Perlas Archipelago, Panama: Preliminary characterization. *Aquat. Mamm.* 34:458–463.

Payne RS, McVay S. 1971. Songs of Humpback Whales. *Science*. 173:585–597. doi:10.1126/science.173.3997.585.

Perazio C, Zapetis M, Roberson D. 2017. Humpback whale, *Megaptera novaeangliae*, song during the breeding season in the Gulf of Tribugá, Colombian Pacific. *Madag. Conserv. Dev.* 10:1–8.

Prieto-González R, Valsero Blanco Mc, Adam O. 2011. Cómo utilizar el canto de las ballenas para saber su número. *TRIM* 2:5–30.

Rasmussen K, Palacios DM, Calambokidis J, Saborío MT, Dalla Rosa L, Secchi E, Steiger GH, Allen J and Stone G (2007) Southern Hemisphere humpback whales wintering off Central America: insights from water temperature into the longest mammalian migration. *Biology Letters* doi:10.1098/rsbl.2007.0067.

Reilly, S.B., Bannister, J.L., Best, P.B., Brown, M., Brownell Jr., R.L., Butterworth, D.S., Clapham, P.J., Cooke, J., Donovan, G.P., Urbán, J. & Zerbini, A.N. 2008. *Megaptera novaeangliae*. The IUCN Red List of Threatened Species 2008: e. T13006A3405371. (Disponible en: <http://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2008.RLTS.T13006A3405371>. Consultado el: 22 de abril de 2018).

Risch D, Corkeron PJ, Ellison WT, Parijs SM Van. 2012. Changes in Humpback Whale Song Occurrence in Response to an Acoustic Source 200 km Away. *PLoS One* 7:2–7.

- Robbins J, Rosa LD, Allen JM, Mattila DK, Secchi ER, Friedlaender AS, Stevick PT, Nowacek DP, Steel D. 2011. Return movement of a humpback whale between the Antarctic Peninsula and American Samoa: A seasonal migration record. *Endanger. Species Res.* 13:117–121.
- Roman J, Estes JA, Morissette L, Smith C, Costa D, McCarthy J, Nation JB, Nicol S, Pershing A, Smetacek V. 2014. Whales as marine ecosystem engineers. *Ecol. Soc. Am.* 12:377–385.
- Rossi-Santos MR. 2012. Comportamento e ecologia acústica da baleia jubarte (*Megaptera novaeangliae*) na região Nordeste do Brasil. Tese para obtenção do título de Doutor em Psicobiologia. Universidade Federal do Rio Grande do Norte Centro de Biociências.
- Scheidat M, Castro C, Denkinger J, Gonzalez J, Adelung D. 2000. A breeding area for humpback whales (*Megaptera novaeangliae*) of Ecuador. *Cetacean res. Mange* 2:165–171.
- Stevick PT, Neves MC, Johansen F, Engel MH, Allen J, Marcondes MCC, Carlson C. 2011. A quarter of a world away: female humpback whale moves 10 000 km between breeding areas. *Biol. Lett.* 7:299–302.
- Villegas-Zurita F, Castillejos-Moguel F. 2013. Primer registro de alimentación oportunista de ballena jorobada (*Megaptera novaeangliae*) en la costa de Oaxaca, México. *Therya* 4:113–119.
- Winn, H., Edel, R., & Taruski, A. 2011. Population Estimate of the Humpback Whale (*Megaptera novaeangliae*) in the West Indies by Visual and Acoustic Techniques. *Journal of the Fisheries Research Board of Canada*, 32(4).

ANEXOS

Anexo 1: carta de compromiso con la Pacific Whale Foundation

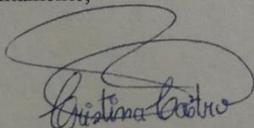
Señores
UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR
Facultad de Ciencias Biológicas
Carrera de Ciencias Biológicas y Ambientales

Cordial saludo,

Yo Cristina Castro, en mi calidad de directora de la Fundación Pacific Whale en Ecuador, autorizo a Luna María Barragán Tabares, estudiante de la carrera de Ciencias Biológicas y Ambientales, de la Universidad Central del Ecuador, a utilizar información confidencial de la Fundación para el proyecto de investigación denominado "Análisis bioacústico comparativo del canto de *Megaptera novaeangliae* en el Área Marina del Parque Nacional Machalilla y Reserva Santa Gallo entre 1996 y 2017". Como condiciones contractuales, el estudiante se obliga a (1) no divulgar ni usar para fines personales la información (documentos, expedientes, escritos, artículos, grabaciones y demás materiales) que, con objeto de la relación de trabajo, le fue suministrada; (2) no proporcionar a terceras personas, verbalmente o por escrito, directa o indirectamente, información alguna de las actividades y/o procesos de cualquier clase que fuesen observadas en la fundación durante la duración del proyecto y (3) reconocer los derechos de autor de la fundación en los productos (documentos, metodología, procesos y demás) relacionados con el proyecto. El estudiante asume que toda información y el resultado del proyecto serán de uso exclusivamente académico.

En caso de que alguna(s) de las condiciones anteriores sea(n) infringida(s), el estudiante queda sujeto a la responsabilidad civil por daños y perjuicios que cause a la Fundación Pacific Whale, así como a las sanciones de carácter penal o legal a que se hiciere acreedor.

Atentamente,



Cristina Castro
Directora de la Fundación en Ecuador

Anexo 2: Tabla de datos del PCA

VALORES DE VARIANZA POR CADA COMPONENTE DEL ANALISIS DE COMPONENTES PRINCIPALES – CANTOS 2017

PC	EIGENVALUE	% VARIANZA
1	6,44245	71,583
2	1,68533	18,726
3	0,701263	7,7918
4	0,0582159	0,64684
5	0,0378726	0,42081
6	0,0331652	0,3685
7	0,0308612	0,3429
8	0,0106767	0,11863
9	0,00016789	0,0018655

VALORES DE VARIANZA POR CADA COMPONENTE DEL ANALISIS DE COMPONENTES PRINCIPALES – CANTOS 2017

PC	EIGENVALUE	% VARIANZA
1	7,10049	78,894
2	1,07141	11,905
3	0,785202	8,7245
4	0,020516	0,22796
5	0,00990538	0,11006
6	0,00646191	0,071799
7	0,00322568	0,035841
8	0,00241609	0,026845
9	0,00037276	0,0041417

VALORES DE VARIANZA POR CADA COMPONENTE DEL ANALISIS DE COMPONENTES PRINCIPALES – GENERAL

PC	EIGENVALUE	% VARIANZA
1	6,8971	76,634
2	1,25173	13,908
3	0,780366	8,6707
4	0,0234332	0,26037
5	0,0207193	0,23021
6	0,0123714	0,13746
7	0,00902937	0,10033
8	0,00481137	0,05346
9	0,0004364	0,0048489

Anexo 3: Tabla de datos del DA

ANALISIS DISCRIMINANTE MATRIZ DE CONFUSIÓN USANDO METODO JACKKNIFFING – CANTOS 2017

	B	C	E	H	I	L	TOTAL
B	76	3	0	0	0	0	79
C	0	261	0	0	0	0	261
E	0	0	64	0	0	0	64
H	0	0	0	191	0	0	191
I	1	0	0	0	46	0	47
L	1	0	0	0	2	236	239
TOTAL	78	264	64	191	48	236	881

ANALISIS DISCRIMINANTE MATRIZ DE CONFUSIÓN USANDO METODO JACKKNIFFING – CANTOS 2018

	A	C	E	F	H	TOTAL
A	400	2	0	0	0	402
C	0	228	0	0	0	228
E	0	0	499	0	0	499
F	0	2	0	155	0	157
H	1	1	0	0	262	264
TOTAL	401	233	499	155	262	1550

ANALISIS DISCRIMINANTE MATRIZ DE CONFUSIÓN USANDO METODO JACKKNIFFING – CANTOS 2017 Y 2018

	B	C	E	H	I	L	A	F	TOTAL
B	78	1	0	0	0	0	0	0	79
C	6	483	0	0	0	0	0	0	489
E	0	0	563	0	0	0	0	0	563
H	3	5	0	424	5	0	18	0	455
I	0	0	0	0	46	1	0	0	47
L	1	0	0	0	5	214	0	19	239
A	9	0	0	0	0	1	392	0	402
F	3	0	0	0	4	7	0	143	157
TOTAL	100	489	563	424	60	223	410	162	2431