



CENTRO DE INVESTIGACIONES BIOLÓGICAS
DEL NOROESTE, S.C.

Programa de Estudios de Posgrado

**ANÁLISIS DE VARIACIONES GEOGRÁFICAS DE
VOCALIZACIONES DEL RORCUAL TROPICAL (*Balaenoptera edeni*)
EN EL GOLFO DE CALIFORNIA**

TESIS

Que para obtener el grado de

Maestro en Ciencias

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

Presenta

Violeta Cassandra Vera Cuevas

La Paz, Baja California Sur, Septiembre 2016.

ACTA DE LIBERACIÓN DE TESIS

En la Ciudad de La Paz, B. C. S., siendo las 16 horas del día 15 del mes de Septiembre de 2016, se procedió por los abajo firmantes, miembros de la Comisión de Tesis avalada por la Dirección de Estudios de Posgrado del Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S. C., a liberar la Tesis de Grado titulada:

"Análisis de variaciones geográficas de vocalizaciones de la ballena del rorcual tropical (*Balaenoptera edeni*) en el Golfo de California"

Presentada por el alumno:

Violeta Cassandra Vera Cuevas

Presentada al Grado de MAESTRO EN CIENCIAS EN EL USO, MANEJO Y PRESERVACIÓN DE LOS RECURSOS NATURALES CON ORIENTACIÓN EN **Biología Marina.**

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

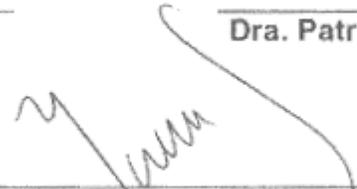
LA COMISIÓN REVISORA



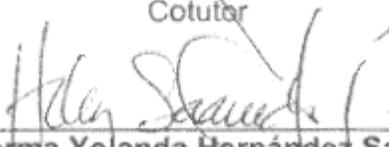
Dr. Eduardo Romero Vivas
Director de Tesis



Dra. Patricia Cortés Calva
Cotutor



Dr. Jorge Urbán Ramírez
Cotutor



Dra. Norma Yolanda Hernández Saavedra,

Directora de Estudios de Posgrado y Formación de Recursos Humanos

COMITÉ TUTORIAL

DR. EDUARDO ROMERO VIVAS
Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste
Director de Tesis

DRA. PATRICIA CORTÉS CALVA
Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste
Cotutor

DR. JORGE URBÁN RAMÍREZ
Universidad Autónoma de Baja California Sur
Cotutor

COMITÉ REVISOR DE TESIS

DR. EDUARDO ROMERO VIVAS
DRA. PATRICIA CORTÉS CALVA
DR. JORGE URBÁN RAMÍREZ

JURADO DE EXÁMEN DE GRADO

DR. EDUARDO ROMERO VIVAS
DRA. PATRICIA CORTÉS CALVA
DR. JORGE URBÁN RAMÍREZ

SUPLENTE:

DR. HIRAM ROSALES NANDUCA

RESUMEN

Los sonidos son el principal medio de comunicación en los mamíferos marinos y son indicadores de abundancia, distribución y estructura poblacional. El ruido marino ha ido en aumento en las bajas frecuencias en las que se comunican los misticetos y consecuentemente han modificado sus vocalizaciones. El rorcual tropical (*Balaenoptera edeni*) es la ballena más avistada en el Golfo de California (GC), del cual, la llamada más abundante es la Be4. Estudios anteriores sugieren variaciones en la duración del componente principal (CP) de esta llamada, asociada a dos zonas diferentes en el GC. Esta diferencia se puede deber a que son grupos distintos o modificaciones consecuencia del ruido de las distintas zonas. Nuestro objetivo fue determinar si las diferencias en las llamadas del norte y sur del GC están asociadas a los niveles de ruido (Efecto Lombard). Para este fin, se identificó, caracterizó y agrupó la llamada Be4 para poder compararla (componentes, frecuencia, duración, gradiente inverso y distribución de energía). Los sonidos observados antes de cada llamada se consideraron como el ruido, y fueron analizados independientemente de acuerdo a sus características temporales y de frecuencia. Por último, se realizaron pruebas estadísticas correlacionando el ruido y la llamada Be4 para concluir si existía Efecto Lombard. Se encontró que el ruido en el norte del GC es intenso en frecuencias más bajas que la llamada Be4, mientras que en el sur predomina una banda que enmascara algunos de sus componentes. En el sur Be4 presenta un componente a 30 Hz el 65% de los casos, en tanto que en el norte solo el 3%. La llamada Be4 es modificada en tono (más grave) y timbre (ampliando y modificando sus componentes) a mayores niveles de ruido mostrando Efecto Lombard. Sin embargo, las diferencias entre regiones para el CP pudiesen deberse a diferencias de amplitud o estar también relacionadas a otros factores como podría ser la existencia de 2 poblaciones.

Palabras clave: Tipos de ruido en el Golfo de California, llamada Be4 de *Balaenoptera edeni*, y Efecto Lombard



Vo. Bo. Dr. Eduardo Romero Vivas

ABSTRACT

Sounds are the primary means of communication in marine mammals and indicators of abundance, distribution, and population structure. Ocean noise has been increasing at low frequencies at which Mysticeti communicate, and consequently they have changed their vocalizations. Bryde's whale (*Balaenoptera edeni*) is the most sighted whale in the Gulf of California (GC) and Be4 is its most abundant call. Previous studies suggest variations in length of the main component of this call in relation to two different areas, north and south in the GC. These differences may be due to having different whale groups or they could be the result of noise levels from different areas. Our goal is to determine whether differences in calls in the northern and southern parts of the GC are associated with noise levels (Lombard effect). For this purpose we identified, characterized, and grouped Be4 calls to compare components, frequency, length, inverse gradient, and energy distribution. The sounds recorded 5 seconds prior the beginning of each call were classified as noise and were independently analyzed in relation to their temporary and frequency characteristics. Lastly, statistical tests were performed by correlating noise levels and Be4 calls to conclude whether the Lombard effect was present or not. As a result, noise in the north of the GC was found to be more intense at lower frequencies than those of the Be4 call while in the south a noise band was observed masking some of the call components. In the south the Be4 call showed a component at 30 Hz around 65% of the time while only 3% was recorded in the north where the calls had a lower pitch (bass) and tone (expanding and modifying its components) in response to higher noise levels, thus showing the Lombard Effect. However, these differences in the main component between regions could be due to differences in amplitude or to the existence of 2 different populations.

Keywords: Types of noise of the Gulf of California, *Balaenoptera edeni* Be4 call, Lombard effect.



Vo. Bo. Dr. Eduardo Romero Vivas

... Por un viaje ligero, a Charlie

AGRADECIMIENTOS

Al Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste (CIBNOR), por abrirme sus puertas, a todo el personal académico y administrativo por su calidez y por el apoyo brindado en mi formación.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT), por la beca otorgada 300356, y a mi país, México, por proporcionarme la oportunidad de realizar estudios a nivel posgrado.

A mi comité de tesis: el Dr. Eduardo Romero Vivas, que además de ser un buen bailador, fue aún un mejor Director, gracias por aceptarme bajo su tutoría, por su tiempo, paciencia, formación, pero en especial por compartir su pasión, llevar lo artístico a lo científico, la música a la ciencia, por enseñarme bioacústica. A la Dra. Patricia Cortés Calva, nunca me sentí tan bióloga como cuando trabajé en campo con usted, hice lo que siempre soñé, gracias por compartir su experiencia, su trabajo y por la felicidad que me ha brindado. Y por último, con mucho respeto y una increíble admiración al Dr. Urbán, por confiar en este proyecto, por aceptarme en su *Alma matter*, por sus aportaciones invaluable, su tiempo y su siempre disponibilidad.

Al laboratorio PRIMMA, en especial a la Dra. Vilorio y al Dr. Rosales. A Patricia Carvajal, mi compañera, por todo su apoyo y ayuda, eres la mejor *sís* que pude pedir, gracias. Al Dr. Bojórquez y al Dr. García de León, por adoptarme. A la maestra Diana Dorantes por la edición del *abstract* de este trabajo. A todos los integrantes del laboratorio de Biología Marina por el monitoreo a Ojo de Liebre, el cual también fue un sueño hecho realidad.

Y Como dice “El Padrino”: El tiempo hace estragos en la gratitud, incluso más que la belleza. Fueron tres años, y si me dejan un día más, ¡Peligro me lo tomo!

Son muchas personas a las cuales agradecer, desde el Dr. Pereyra, que alguna vez me mando por primera vez al CIBNOR, hace 5 años; hasta Edu, Babs y Saúl que me cubrieron y apoyaron para poder venir. Edu, porque desde el primer día que salí, hiciste que formara parte de la PEA, por compartir tu mente, por tu paciencia, accesibilidad, pero sobre todo por tu amistad.

Hace algunos días, que padecía de blefaroespasmos, dios google dijo que “dormir y NO tomar café, era la cura”, imposible. Aquella sonrisa de la joven de la cafetería, -cuyo nombre desconozco-, con su buen café y cálidas palabras -“¡ánimo, bonito fin de semana, chica!”-, me dieron la motivación requerida para continuar esos días. Y así como ella, muchos cambiaron mis días con sus sonrisas y palabras. Aunque podría escribir un libro sobre “Mis aventuras en La Paz” y en él incluir capítulos enteros con una trama para cada personaje que me acompañó, donde explique un poco del Efecto Mariposa además del Lombard, ese no es el objetivo de esta sección. Además, que seguro mi director diría: “Ves, por eso no terminabas la tesis”.

Lo que sí quiero decirles, es que sí estuvimos aquí, sí alguna mañana les dije hola, gracias, les brinde una sonrisa, o un abrazo, es porque desde entonces forman parte de esta experiencia, se los he agradecido y su nombre también está escrito en estas líneas, inclusive si ustedes tampoco saben mi nombre.

Rana, porque estuve más cerca del cielo contigo en “San Pedro Mártir”, recorrer La Baja era uno de mis sueños, (¡Los aviones no cuentan, no es realmente interacción!) ¿Recuerdas las luces extrañas que vimos en medio mar? fue un completo alucine, para expedientes secretos x. Gracias por tu tiempo y cariño.

A mis amigos, quienes compartieron las maravillas de este pedazo de cielo conmigo: Diana, Florent, Pablo, Toño, Nadia, Cielo, Kelly, Sayuri; Cony, Dra. Libertad, Sr. Lopez, mi ángel Rosy Jaques, mi médico de cabecera: Rosy Barba, Marinita, y a los que están a la distancia Betty, David, Mickey, Jojojo y Danyboy, porque: “La amistad lo es todo. La amistad vale más que el talento. Vale más que el gobierno. La amistad vale casi tanto como la familia”.

Y por último a mi peculiar familia sólo resta darle ánimo, por la que aún falta. Ustedes son mis alas, mi seguridad, mi refugio y mi inspiración. Agradezco también el enorme apoyo de los que me han animado a continuar y a creer en mí, a mis tías Nereida, Ivonne, Malena y muy especialmente a mis tíos Carlos y Noemí por ser siempre ser testigos de mis aventuras, sin importar el suelo que pise. A mi bella y consentida prima “Yiya”, simplemente por ser ella. Los amo inmensamente.

Gracias a la vida

CONTENIDO

RESUMEN	¡Error! Marcador no definido.
ABSTRACT	ii
DEDICATORIA	iii
AGRADECIMIENTOS.....	iv
CONTENIDO.....	vi
LISTA DE FIGURAS.....	x
LISTA DE TABLAS	xi
1.INTRODUCCIÓN	1
2.ANTECEDENTES	3
2.1 Fisiología de la Audición	3
2.2 Ruido	6
2.3 Fuentes de Ruido.....	6
2.4 Tipos de Ruido.....	7
2.5 Aumento del Ruido Marino	9
2.6 Efecto Lombard.....	12
2.7 Efecto Lombard en Mamíferos Marinos	13
2.8 Rorcual Tropical.....	14
2.9 Bioacústica	17
2.10 Características de la llamada Be4	19
3.JUSTIFICACIÓN	21
4.HIPÓTESIS	23
5.OBJETIVOS.....	23
5.1 Objetivo general.....	23
5.2 Objetivos Particulares	23
6. MATERIALES Y MÉTODOS.....	24
6.1 Área de estudio y toma de muestras	24
6.2 Identificación, tratamiento, y análisis de las llamadas.....	25
6.3 Ruido	26
6.3.1 Clasificación del ruido	28
6.3.2. Cuantificación del ruido [rms]	28
6.3.2.1 Cuantificación por zona y por localidad	28
6.3.2.2 Cuantificación por tipo de ruido.....	28

6.3.3 Caracterización en frecuencia	29
6.3.3.1 Análisis espectral en frecuencia por zona y por localidad.....	29
6.3.3.2 Análisis espectral en frecuencia por tipo de ruido.....	29
6.3.4 Distribución de la energía por tercio de octava.....	29
6.3.4.1 Filtros de tercio de octava por zona y por localidad	30
6.3.4.2 Filtros de tercio de octava por tipo de ruido.	30
6.4 Llamadas.....	30
6.4.1 Caracterización de la llamada Be4 con base en sus componentes	31
6.4.2 Caracterización de los componentes en frecuencia	31
6.4.2.1 Caracterización de la frecuencia de los componentes por zona	32
6.4.2.2 Caracterización de la frecuencia de los componentes por localidad.....	32
6.4.3 Variación de la longitud del componente principal.....	32
6.4.4 Gradiente de energía de los componentes.....	33
6.4.4.1 Gradiente relativo respecto al CP.....	34
6.4.5 Filtros de octava de la llamada	35
6.5 Comparación y correlación del ruido y la llamada Be4	37
6.5.1 Relación señal ruido (SNR)	37
6.5.2 Clasificación de los niveles de ruido.....	38
6.5.3 Valoración del enmascaramiento de los componentes.....	38
6.5.4 Corrimiento de la frecuencia de los componentes y el ruido	39
6.5.4.1 Cambios en la frecuencia por nivel de ruido total y local.....	39
6.5.4.2 Cambios en la frecuencia por tipo de ruido	39
6.5.5 Variación de la longitud del CP con relación al ruido.....	40
6.5.6 Gradiente de energía y su relación con el ruido	40
6.5.6.1 Cambios de gradientes de energía con los respecto a los niveles de ruido	40
6.5.6.2. Cambios de gradientes de energía con los respecto a los tipos de ruido	41
6.5.7 Filtros de octava y distribución de la energía.....	41
7. RESULTADOS	43
7.1 Identificación, tratamiento, y análisis de las llamadas.....	43
7.2 Ruido	46

7.2.1 Clasificación del ruido	46
7.2.2 Cuantificación del ruido [rms]	47
7.2.2.1 Cuantificación por zona y por localidad	47
7.2.2.2 Cuantificación por tipo de ruido	48
7.2.3 Caracterización en frecuencia	50
7.2.3.1 Análisis espectral en frecuencia por zona y por localidad	50
7.2.3.2 Análisis espectral en frecuencia por tipo de ruido	51
7.2.4 Distribución de la energía por tercio de octava	54
7.2.4.1 Filtros de tercio de octava por zona y por localidad	54
7.2.4.2 Filtros de tercio de octava por tipo de ruido.....	54
7.3 Llamadas	56
7.3.1 Caracterización de la llamada con base en sus componentes	56
7.3.1.1 Componente 1 - 30 Hz	57
7.3.1.2 Componente 3- 95 Hz y Componente 4 -112 Hz.....	58
7.3.1.3 Otras llamadas	59
7.3.2. Caracterización de los componentes en frecuencia	60
7.3.2.1 Determinación de las frecuencias de los componentes de Be4	60
7.3.2.2 Caracterización de la frecuencia de los componentes por zona	61
7.3.2.3 Caracterización de la frecuencia de los componentes por localidad	64
7.3.3 Variación de la longitud del componente principal.....	66
7.3.4 Gradiente de energía de los componentes.....	67
7.3.4.1 Pico de energía del CP.....	67
7.3.4.2 Gradiente relativo respecto al CP.....	67
7.3.5 Filtros de octava de la llamada	70
7.3.5.1 Distribución de los componentes de Be4 en filtros de octava	70
7.3.5.2 Energía de los filtros de octava por localidad	71
7.4 Comparación y correlación de ruido y la llamada Be4	73
7.4.1 Relación señal a ruido (SNR)	74
7.4.2 Clasificación del ruido en niveles.....	75
7.4.3 Valoración del enmascaramiento de los componentes.....	78
7.4.3.1 Componente 1 - 30 Hz	78

7.4.3.2 Componente 2 - 73 Hz	79
7.4.3.3 Componente 5 - 134 Hz	81
7.4.4 Corrimiento de la frecuencia de los componentes y el ruido	82
7.4.4.1 Cambios en la frecuencia por nivel de ruido local y total.....	82
7.4.4.2 Cambios en la frecuencia por tipo de ruido	83
7.4.5 Variación de la longitud del CP con relación al ruido.....	84
7.4.6 Gradiente de energía y su relación con el ruido	86
7.4.6.1 Cambios de gradientes de energía con los respecto a los niveles de ruido	87
7.4.6.2 Cambios de gradientes de energía con los respecto a los tipos de ruido	88
7.4.7 Filtros de octava y distribución de la energía	89
7.4.7.1 Distribución por localidad	89
7.4.7.2 Distribución por niveles	90
7.4.7.3 Distribución por tipos	93
8.DISCUSIÓN	96
9.CONCLUSIONES	113
10.RECOMENDACIONES	114
11.LITERATURA CITADA	116
12.ANEXOS	127
Anexo I: Código para la toma de muestras.....	133
Anexo II: Llamadas de Be4 con otros componentes.....	148
Anexo III Porcentaje de presencia de los componentes.....	149

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Representación del proceso auditivo.	5
Figura 2. Bandas críticas.....	5
Figura 3. Clasificación del ruido por temporalidad, fuente, y origen.....	8
Figura 4. Curvas de Wenz.....	10
Figura 5. Distribución mundial de <i>B. edeni</i>	15
Figura 6. Árbol filogenético con base en mtDNA de <i>B. edeni</i>	16
Figura 7. Espectrograma de la llamada Be4.	20
Figura 8. Zona de estudio 2006-2012.	25
Figura 9. Flujo de trabajo de la metodología.	27
Figura 10. Determinación de la frecuencia de los componentes.	32
Figura 11. Espectrograma 3D en Matlab®.	33
Figura 12. Espectrograma 3D de los componentes	34
Figura 13. Selección del rango de muestreo para cada componente de Be4	36
Figura 14. Energía de la llamada Be4 por tercio de octava.....	41
Figura 15. Porcentaje de energía de la llamada por banda de frecuencia.	42
Figura 16. Diagrama de flujo de los resultados.	44
Figura 17. Clasificación del ruido.....	46
Figura 18. Llamadas por tipo de ruido.....	47
Figura 19. Niveles del ruido por localidades.....	48
Figura 20. Niveles de ruido [rms] en los tipos de ruido encontrados en Bahía de los Ángeles y Bahía Kino.....	48
Figura 21. Niveles de ruido [rms] en los tipos de ruido encontrados en Punta Pescadero.....	50
Figura 22. Caracterización espectral de la frecuencia por localidad.	51
Figura 23. Espectros promedio por tipo de ruido.....	53
Figura 24. Filtros de un tercio de octava por sitio localidad.....	54
Figura 25. Filtros de un tercio de octava por tipos de ruido.....	55
Figura 26. Clasificación de la llamada Be4 de acuerdo a sus componentes.....	56
Figura 27. Espectrogramas de la tipología de Be4.....	60
Figura 28. Determinación de la frecuencia de los componentes.	61

Figura 29. Frecuencias de los componentes con diferencia estadística, por zona.	62
Figura 30. Frecuencia de los componentes con diferencia estadística, por localidad.....	65
Figura 31. Frecuencias de los componentes por localidad	65
Figura 32. Longitud del componente principal de Be4 a tres gradientes de corte.	66
Figura 33. Grafica del gradiente de energía del CP de las localidades.....	67
Figura 34. Gradiente relativo de los componentes de Be4.....	69
Figura 35. Gradientes de energía del c2-73 Hz.....	69
Figura 36. Distribución de la energía de los componentes discretos en los filtros de un tercio de octava.....	70
Figura 37. Energía promedio total por banda de frecuencia de la llamada Be4 para cada localidad.	72
Figura 38. Relación entre la señal y el ruido por localidad.	75
Figura 39. Mapas de calor obtenidos del nivel de energía [rms] según la categoría del ruido, por localidad.	76
Figura 40. Niveles de ruido por clasificación de tipos ruido.....	77
Figura 41. Diferencia de energía del c1-30 Hz y enmascaramiento.....	80
Figura 42. Energía de ruido vs llamadas en el c2-73 Hz.....	80
Figura 43. Análisis de correlación de Pearson de BA y PP para el c2-73 Hz.....	81
Figura 44. Frecuencia de los componentes vs niveles de ruido.....	82
Figura 45. Frecuencia del c3-94 Hz y c4-112 Hz a diferentes niveles de energía..	83
Figura 46. Diferencia en frecuencia del c6-150 Hz en presencia de ruido VI.....	84
Figura 47. Variación de la longitud del CP contra el nivel de ruido [rms].....	85
Figura 48. Relación entre el nivel de ruido y diferencia de energía del c3-94 Hz y c4-112 Hz.....	89
Figura 49. Filtros de tercio de octava: Relación llamada vs ruido, por localidad...	91
Figura 50. Filtros de tercio de octava: Relación llamada vs ruido, a diferentes niveles de ruido	92
Figura 51. Mapa de calor de la distribución de la energía por tercios de octava en diferentes tipos de ruidos.	94
Figura 52. Distribución de la energía de la llamada por tipo de ruido, en porcentaje.....	94

LISTA DE TABLAS

Tabla I. Selección de llamadas con base a los componentes de Be4.	45
Tabla II. Porcentaje de los componentes discretos de la llamada Be4.	57
Tabla III. Ocurrencia del c1-30 <i>Hz</i>	58
Tabla IV. Frecuencia de los componentes por zona.	63
Tabla V. Componentes discretos ordenados por gradiente.	68
Tabla VI. Filtros de un tercio de banda excitados por cada componente de Be4..	71
Tabla VII. Duración promedio [s] de los componentes de Be4.	72
Tabla VIII. Diferencia de energía [dB] en los filtros de un tercio de octava con respecto al CP.	73
Tabla IX. Niveles de ruido [rms] en Be4.	75
Tabla X. Llamadas con una menor relación señal a ruido.	77
Tabla XI. Características del c5-134 <i>Hz</i> entre localidades	81
Tabla XII. Cambios en frecuencia de los componentes al nivel del ruido [rms]. ...	83
Tabla XIII. Diferencias de energía de los componentes discretos.	87
Tabla XIV. Diferencias de los componentes en tres niveles de ruido [dB].	88

1. INTRODUCCIÓN

Las vocalizaciones son el principal medio de comunicación de los mamíferos marinos, debido a las características físicas del medio acuático en el que habitan (Dudzinski *et al.*, 2009; Richardson *et al.*, 2013). El análisis de sus vocalizaciones, la bioacústica, permitirá conjeturar aspectos acerca la biología, distribución, abundancia, estructura poblacional e historia de vida de los cetáceos; mientras a su vez recopila información que ayuda a inferir tanto el estado físico del océano, como la respuesta de los mamíferos marinos a posibles alteraciones de su hábitat (Ellison *et al.*, 2012; Sterbing-D'Angelo, 2010).

Balaenoptera edeni, es un cetáceo perteneciente al suborden Mysticeti, conocido como “rorcual tropical”. Su distribución se relaciona a las aguas cálidas y subtropicales de todo el mundo. Esta especie se encuentra bajo protección en la Norma Oficial Mexicana (NOM-059-SEMARNAT-2010) y esta citada en la lista roja de la IUCN (Rosel y Wilcox, 2014; Wada *et al.*, 2003; Wade y Genodette, 1993).

El rorcual tropical (*B. edeni*) es la ballena más avistada en el Golfo de California (GC), perteneciente a la subespecie *B. edeni brydeii*, (Viloria *et al.*, 2015). Pero, debido a la incertidumbre que rodea esta especie concerniente a que podría ser un “Complejo de especies”, hacen que su distribución y abundancia este en juicio (Wada *et al.*, 2003). La acústica podría asentar las bases que nos ayuden a resolver algunas de estas discrepancias. Sin embargo, la información de su repertorio acústico, aunque ha tenido grandes avances, sigue siendo escasa (Viloria *et al.*, 2012).

Las llamadas de vocalización de *B. edeni* han sido estudiadas, clasificadas y relacionadas a diferentes zonas geográficas. Tanto los monitoreos acústicos (Heimlich *et al.*, 2005) como visuales (Oleson *et al.*, 2003;) señalan que la llamada Be4, atribuida a *B. edeni*, es una vocalización común en el GC. Sin embargo, estudios recientes indican que este llamado presenta alteraciones en la longitud

(duración) del componente principal de la llamada, asociando estas diferencias a dos regiones dentro del GC. (Viloria *et al.*, 2013). Esta diferencia se relaciona con la información de la presencia de dos stocks discretos (López-Montalvo, 2012; Olavarrieta-García, 2012; Dizon *et al.*, 1996; Breese y Tershy, 1987). Sin embargo, cambios con variaciones significantes en una área relativamente pequeña, también hace suponer que estos cambios pueden ser el resultado de variaciones ambientales (Viloria *et al.*, 2015).

El GC presenta condiciones geográficas y acústicas distintas, donde las variaciones del ambiente pueden influir en las vocalizaciones, desarrollando estrategias que les permitan hacer más efectiva la comunicación. El Efecto Lombard es el fenómeno que asocia estas modificaciones de las llamadas con el ruido (Hotchkin y Parks, 2013). Se han incrementado el número de publicaciones que hablan de alteraciones consecuencia del ruido, lo que sería de particular importancia en el ambiente marino, pues desde 1960, se ha observado que existe una tendencia en el aumento de las embarcaciones, y por tanto, el ruido producido por ellas en las bajas frecuencias. Estas frecuencias coinciden a su vez con las frecuencias del sonido que producen algunos balaenopteridos para comunicarse (Castellote *et al.*, 2012; Holt *et al.*, 2011; Kastak *et al.*, 2005; Munger *et al.*, 2011; Rolland *et al.*, 2012; Stafford *et al.*, 2007).

La caracterización del ruido en el GC, podría ayudarnos a valorar e impacto consecuente del ruido no solo en cetáceos, sino de todas las especies cuya comunicación este siendo enmascarada en este ambiente. La implementación de un análisis informático de ruido y vocalizaciones, que permita la identificación y caracterización de las llamadas, podría ayudarnos a inferir si el ruido está relacionado con las llamadas, con la vocalización más abundante, del cetáceo más avistado en el GC (Ellison *et al.*, 2012; Bapineedu, 2013;).

2. ANTECEDENTES

Los cetáceos son un grupo que evolucionó para adaptarse al medio acuático, sufriendo modificaciones anatómicas y fisiológicas que le permitieron desarrollarse en el mar. El océano, al ser un medio denso (800 veces mayor al aire), impide que la luz se propague, pero en su contraparte, permite que el sonido viaje con mayor rapidez, al menos 4.5 veces en comparación al aire (Ou *et al.*, 2012; Simard *et al.*, 2008). Así pues, un pilar en el éxito de los mamíferos marinos, ha sido el desarrollo de su capacidad auditiva y sonora.

El sonido es una vibración cuya propagación depende tanto de las propiedades de la onda, como de las características del medio, que en combinación, dan como resultado un determinado nivel de presión que es captado por el receptor. Sin embargo, la manera en que se interpreta un sonido, también depende de los mecanismos fisiológicos del receptor (Wartzork, 1999).

Los audiogramas son las gráficas que nos muestran la audición útil ó el sonido menos intenso, que el receptor puede escuchar para las diferentes frecuencias (Dudzinski *et al.*, 2009). No obstante, hasta el momento no se tienen audiogramas para ningún misticeto, la información auditiva es escasa. Se ha inferido, mediante extrapolaciones, la sensibilidad auditiva (pico espectral) de estudios anatómicos entre individuos, especies, subórdenes taxonómicos, sexo y edad (Melcón *et al.*, 2012; Whitlow, 1993).

2.1 Fisiología de la Audición

Para estudiar la percepción, es necesario conocer la fisiología del oído, que es la estructura anatómica que permite percibir los cambios de presión del sonido. El oído se divide en: oído externo, medio e interno. Las modificaciones en los misticetos se reflejan en la pérdida del oído externo (acústicamente transparente), adaptaciones en el oído medio pero, principalmente, cambios en el oído interno.

Siendo las características morfométricas de la cóclea de los misticetos (tipo M), las que permiten que la membrana basilar (MB) detecte preferentemente sonidos de baja frecuencia (Ketten, 1997; Reidenberg, 2007).

En el proceso auditivo (Fig. 1), un sonido es fragmentado en la MB, los fragmentos o bandas críticas (BC) son filtros pasabanda que permiten la excitación de los nervios de una área fija a lo largo de la MB, que corresponde a un rango determinado de frecuencias. Cada filtro de banda abarca aproximadamente un tercio de octava en dimensión y son superpuestas. Los sonidos de alta frecuencia producen un desplazamiento máximo en las BC cerca de la base, a diferencia de los sonidos de baja frecuencia, cuyo patrón alcanza un máximo antes del ápice (Pace, 2008; Wartzok y Ketten, 1999).

La explicación fisiológica del mecanismo de las BC es aún incierta, pero tiene su fundamento en la capacidad de resolución en frecuencia de la MB (Fig. 2). Su función es integrar la energía, cuyo resultado es la sumatoria del nivel de excitación de la BC correspondiente. El sonido activa un área del filtro, generando una mayor amplitud en un punto específico (frecuencia central FC) y decreciendo hacia los extremos. Esto significa que un sonido tiene mayor sonoridad si sus componentes caen dentro de diferentes bandas críticas. (Foote *et al.*, 2004; Healy y Bacon, 2006; Moore, 2012a). Sin embargo, dos sonidos simultáneos cercanos en frecuencia y que caen dentro del mismo filtro, podrían saturar la máxima capacidad del filtro, además de generar un patrón de interacción entre ambos, diferente al original, enmascarando el sonido (Hall y Barker, 2012).

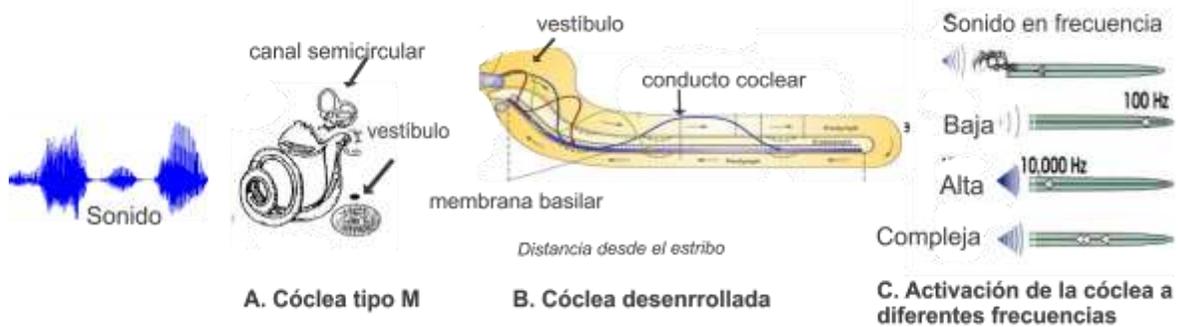


Figura 1. Representación del proceso auditivo. Primero se percibe la onda del sonido, posteriormente dentro del oído interno, en la cóclea (A), es filtrado en la membrana basilar de acuerdo a su composición en frecuencia (B). El sonido activará diferentes partes de la MB según la frecuencia de la que esté compuesta. Los sonidos de baja frecuencia estimularán el ápice, los de alta frecuencia la base, y si el sonido es una mezcla compleja activará varias áreas de la MB (adaptación de Moore, 2012b y Kandel, 2000).

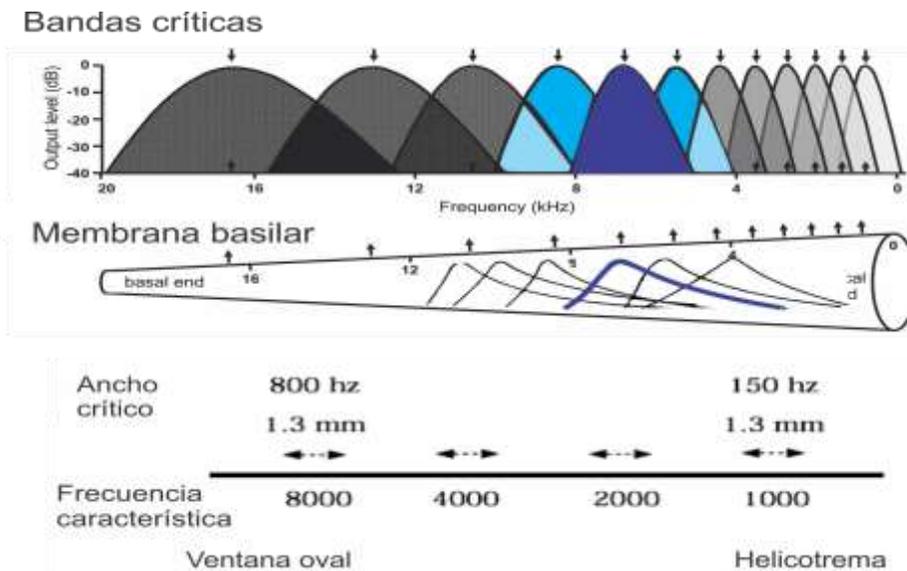


Figura 2. Bandas críticas. Se muestra el modelo popular de la cóclea desarrollada, en el cual la selectividad en frecuencia de la membrana basilar está representada como un arreglo de canales que se traslapan. En la parte inferior, el diagrama muestra la organización espacial en frecuencia de la corteza auditiva primaria, dentro del cual cada campo es una progresión sistemática de bandas isofrecuentes. Las sombras oscuras indican las frecuencias altas y las sombras claras representan las bajas frecuencias, las sombras azules es un ejemplo de escuchar un sonido centrado a 400 Hz (adaptado de: García *et al.*, 2010).

2.2 Ruido

El ruido es un sonido no deseado en el ambiente, produce una sensación auditiva desagradable, interfiriendo con la comunicación y/o las actividades de los individuos. Las perturbaciones sonoras irrumpen los mensajes en diverso grado, no obstante la caracterización es compleja debido a los múltiples factores involucrados (Erbe, 2013).

En 1972 en el Congreso de Medio Ambiente reconoció oficialmente al ruido como un contaminante. Los cambios repentinos en el ambiente, pueden desencadenar efectos adversos indiscutibles a toda la vida marina, en especial a los misticetos, organismos que debido a su amplia agudeza auditiva (10 Hz a 31 kHz) pueden percibir sonidos inclusive a más 100 Km (Ellison *et al.*, 2012), haciéndolos más vulnerables al ruido, enmascarando sus señales (Board, 2003; Weilgart, 2007).

2.3 Fuentes de Ruido

La distinción entre ruido ambiental y ruido focal se diferencia principalmente por la posición de la fuente sonora que se tome como referencia. El sonido, al ser una forma de energía, se disipa a su paso por el medio. Esto tiene como consecuencia que la intensidad percibida cambie en función de la posición del receptor respecto a la fuente, y existe por lo tanto un ruido focal. Esto significa que en principio, las características a considerar de este tipo de ruido están relacionadas en gran medida a la localización y características del receptor con respecto a la fuente sonora (Dunlop *et al.*, 2014; Therrien *et al.*, 2012).

El ruido ambiental tomó importancia debido a que se detectó un incremento del ruido cuya fuente no es identificable, proviene de fondo, un estrepito no definido. Se considera entonces, que el océano no se encuentra en absoluto silencio, sino que emite su propio ruido, y este ha ido aumentando (Urick, 1965). Las investigaciones recientes han detectado que este incremento ha sido constante desde 1985 en las frecuencias menores a 300 Hz (Wilcock *et al.*, 2014). Determinar la o las fuentes de

ruido es útil, porque ayudará a establecer la influencia del humano y esta, de ser negativa, entonces establecer normas y regulaciones.

2.4 Tipos de Ruido

El enmascaramiento, es el resultado de varios factores, como la frecuencia, la intensidad y la duración del ruido (Sterbing-D'Angelo, 2010; Uhen, 2007; Wartzok y Ketten, 1999). Por lo que se hace indispensable catalogarlo, para delimitar el estudio. La clasificación que se haga, depende entonces, del enfoque.

En general, existen clasificaciones del ruido de acuerdo a su temporalidad, origen y fuente, las cuales son resumidas en la figura 3.

En cuanto a la temporalidad, el ruido se clasifica en constante e intermitente. Los efectos, y por lo tanto, las estrategias para evitarlos y/o atenuarlos pueden ser diferentes. Si es intermitente, el comportamiento esperado será la evasión del ruido y la estrategia a seguir puede variar desde la vocalización en los silencios, hasta el alejamiento de la zona de disturbio. Otros factores importantes a considerar son la duración del disturbio, ya que de este dependerá el tiempo de recuperación del nervio auditivo y/o el daño causado, así como la importancia de la situación biológica en la que se encuentre (Moore, 2003).

De acuerdo al origen de la fuente, el ruido se divide en: natural y antropogénico. Las fuentes de ruido natural, a su vez, pueden clasificarse en biológicas y las generadas por procesos físicos naturales, por ejemplo: temblores, erupciones volcánicas, relámpagos, viento y precipitaciones. Las fuentes antropogénicas son las provocadas por el hombre como: explosiones sísmicas y nucleares, uso de sonares, actividad industrial y tráfico naviero (Wysocki *et al.*, 2007).

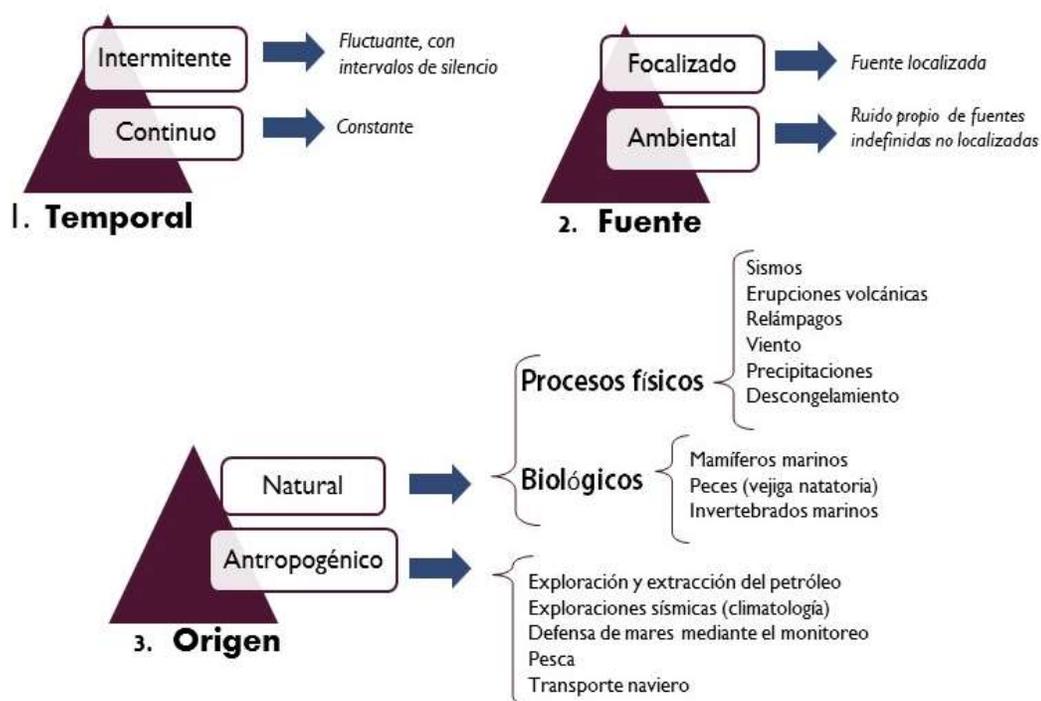


Figura 3. Clasificación del ruido por temporalidad, fuente, y origen. Adaptada de Moore (2012b), Urick (1996) y Wenz (1962).

Las fuentes físicas son el resultado de la interacción entre atmósfera, océano y la tierra. En la superficie del océano los acontecimientos generalmente están asociados con el viento, los microsismos (interacción no lineal de la propagación de las olas), las burbujas a lo largo de la columna de agua y la precipitación. En la atmósfera los truenos, relámpagos, las auroras y explosiones supersónicas de meteoritos también pueden generar sonidos. Como fuentes geológicas tenemos: temblores, actividades volcánicas e hidrotérmicas. Por último, los efectos del hielo, ya que al tener otra impedancia afectan directamente en la propagación del sonido (Board, 2003; Hoelzel, 2002).

Entre las fuentes biológicas, podemos citar a las vocalizaciones de mamíferos marinos, los sonidos producidos por los peces y los otros invertebrados marinos. La vejiga natatoria amplifica, produciendo sus pulsos, a una frecuencia fundamental por debajo de 1 kHz. Mientras que la mayor contribución de los invertebrados son

los comportamientos en coros, los chasquirridos de los camarones principalmente de los géneros *Alpheus* y *Synalpheus*, en un rango de banda de 50 Hz-5 kHz (Au y Hastings 2008; Wilcock *et al.*, 2014).

El ruido antropogénico es el sonido que se origina producto de las necesidades derivadas de la sobrepoblación. Estas actividades consisten principalmente en la exploración y extracción de yacimientos petroleros; también se encuentran las exploraciones sísmicas para las investigaciones climatológicas, el monitoreo del espacio marítimo para la defensa, y comercialmente la pesca y el tráfico naviero (Simard *et al.*, 2012).

La caracterización de los principales sonidos marinos con base a su frecuencia, realizada por Wenz (1962, 1969), corrobora la teoría de que el origen del incremento del ruido puede ser de origen antropogénico. Con una alarmante tendencia a incrementarse 0.55 dB/año, principalmente en las bajas frecuencias. El trabajo de Wenz, dio origen a las curvas que llevan su nombre (Fig. 4).

2.5 Aumento del Ruido Marino

Dado que puede haber una relación entre el incremento del ruido ambiental en bajas frecuencias que coincide con el aumento en el número, tamaño y poder de propulsión de las embarcaciones desde 1960, se han realizado varias investigaciones para determinar: la tendencia, origen y efectos que pudiera tener el ruido en la vida marina. McDonalds y Hildebrand (2008) compararon, el ruido en el sureste de California entre los años: 1958, 1963 y 2005. Su interés era conocer los efectos del ruido de la corteza continental a grandes distancias y a diferentes profundidades. En su estudio, se ratificó el aumento de ruido, reportado desde 1958, no obstante pudieron encontrar una asociación entre la fuente generadora del ruido con diferentes profundidades.

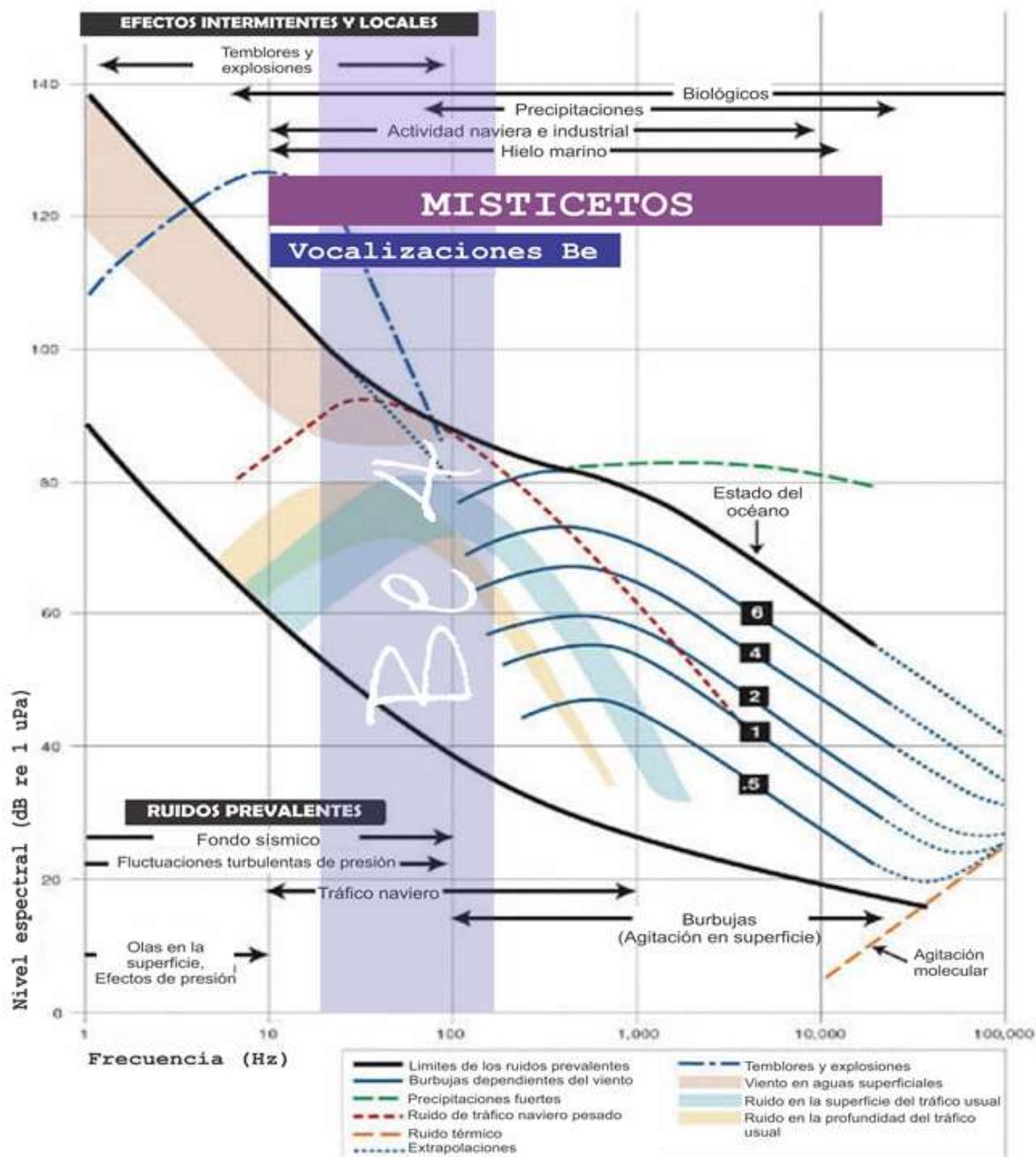


Figura 4. Curvas de Wenz. Se observan los niveles de sonido y frecuencias de los principales ruidos con relación a la percepción auditiva de los misticetos y la llamada Be4 de *B. edeni*. El nivel de sonido en la gráfica está en dB re 1 μ Pa a 1 Hz en el ancho de banda en frecuencia, el cual es usualmente escrito en dB re 1 μ Pa²/Hz (adaptación de Wenz, 1962).

Champan *et al.* (2011) analizaron el ruido con hidrófonos direccionales, encontrando que en el agua superficial (110 m), el aumento del ruido (de 6-9 dB) está asociado a embarcaciones locales, pero a mayores profundidades se escuchaba el ruido proveniente de la lejanía, asociado a grandes embarcaciones a mayores distancias del este y noroeste, con frecuencias entre 30-250 Hz. También sugieren al hacer un análisis de comparación con sus datos que el incremento no ha sido tan drástico en el rango de frecuencias entre 50-400 Hz, tal como lo pronostica Ross (1993). Ya que si comparamos los niveles de ruido de los datos obtenidos de Wenz (1965) contra los de Andrew (1994-2001), encontramos que el incremento sostenido de 0.55 dB/año, únicamente es válido hasta 1980. Durante el resto del siglo, el incremento ha sido 0.2 dB/año. Esto probablemente, debido a una mejor tecnología en la industria naviera o al incremento en el costo del combustible

Las fluctuaciones del ruido han influenciado en gran medida a que los cetáceos desarrollen diversas respuestas tanto en conducta, periodo de alimentación, así como vocalización como consecuencia del ruido (Pirota *et al.*, 2012; Moore y Clarke, 2002)

Uno de los fenómenos que se considera consecuencia de las fluctuaciones de ruido, es el fenómeno conocido como “El Efecto Lombard” cuyo objetivo es el hacer las señales más inteligibles. Sin embargo, las respuestas podrían ser diferentes, de acuerdo al tiempo, niveles y grado de exposición. Por lo que es necesario considerar las ventanas temporales de los cambios ambientales vs los antropogénicos y valorar el grado de adaptación temporal a la cual son capaces de adaptarse genéticamente a estos nuevos cambios, así como cuáles serían sus implicaciones biológicas (Hoelzel, 2002; Read *et al.*, 2013; Weilgart, 2007).

2.6 Efecto Lombard

El efecto Lombard fue descrito por primera vez en 1911 como una respuesta fisiológica en la cual el emisor modifica sus propias vocalizaciones inconscientemente cuando percibe sonidos que interfirieran con la transmisión de su mensaje. Tiene entonces por objetivo evitar el enmascaramiento de su vocalización (Slabbekoor y Boer-Visser, 2006; Therrien *et al.*, 2012).

Uno de los fines de la comunicación es producir cambios en la conducta del receptor, para ello es necesario que la transmisión del mensaje sea llevado con éxito, pero si la señal no llega, el emisor buscará alternativas para lograr que el mensaje se transmita. Estas adaptaciones tienen por objetivo aumentar el nivel de inteligibilidad, mediante, por ejemplo: aumento de intensidad, corrimiento de frecuencia, intervalos de emisión, entre otras (Dunlop *et al.*, 2014; Jones *et al.*, 1984).

No obstante, la percepción de que tan “fuerte o intenso” se escucha un sonido no es meramente un fenómeno físico, ni sigue escalas lineales, más bien depende de una interrelación dinámica de factores, lo que denominamos “psicoacústica”. La psicoacústica es la rama de la acústica que busca explicar principalmente la relación entre el fenómeno físico y la percepción. La sonoridad es la característica subjetiva que nos permite atribuir que tan “fuerte” o “débil” escuchamos algo, y es que un aumento en la intensidad origina un aumento de la sensación sonora, pero éste último no es proporcional a la intensidad. El estudio psicoacústico de sonoridad permite interpretar la relación que tienen estos factores con la percepción del escucha. (Holt *et al.*, 2011; Kastak *et al.*, 2005).

Después de más de 100 años y múltiples investigaciones se entiende que, el Efecto Lombard no es un reflejo, compete a procesos mediados por neuronas del sistema que integran la producción vocal y la percepción auditiva, localizados en el tronco ventrolateral (Schell, 2008). Jürgens (2009) demostró que las áreas corticales de la formación de la retícula están involucradas en este fenómeno, por lo tanto, el proceso es controlado tanto visual como auditivamente. Es además un proceso

cognitivo (humanos), donde el contexto regula el grado de amplificación en la emisión de sonidos (Brumm y Zollinger, 2011).

El conocimiento del Efecto Lombard se ha aplicado en diversas áreas, por ejemplo, la filogenia. Se utiliza actualmente como un carácter apomorfico en mamíferos, ya que se desarrolló al menos 166 millones de años. Quizás, evolutivamente homólogo en aves ya que los circuitos neuronales esenciales están localizados en la transición entre el mesencéfalo y el puente de Varolio, y es altamente conservado tanto en mamíferos como en aves (Hage *et al.* 2013).

Popularmente el Efecto Lombard se le conoce como cualquier respuesta relacionada con modificaciones en las vocalizaciones por interferencia de otros sonidos. Las alteraciones hasta ahora reportadas en diferentes grupos taxonómicos incluyen: cambio de frecuencia en el ancho de banda de los componentes (el mínimo, máximo o el fundamental), desplazamiento de energía entre los componentes, intensidad / volumen, cambios en el comportamiento (animales entrenados en cautiverio), duración de las vocalizaciones y silencios, estrés e intensidad en las características de la fuente (Kastak *et al.*, 2005; Schell, 2008; Simard *et al.*, 2012; Wilczynski y Ryan, 1999).

2.7 Efecto Lombard en Mamíferos Marinos

El estudio realizado por Parks *et al.* (2011) logro correlacionar positivamente la intensidad del ruido con el nivel de presión en la ballena franca (*Eubalaena glacialis*). Mediante marcaje *in situ* registraron las vocalizaciones y el ruido ambiental percibido. Compararon las modulaciones en frecuencia y la intensidad en las llamadas de la ballena con el ruido antropogénico, concluyendo que esta ballena que se encuentra en peligro de extinción y cuya conservación es crítica está alterando sus vocalizaciones como respuesta al ruido antropogénico.

Varios han sido los estudios que reportan cambios en las vocalizaciones de la ballena jorobada (*Megaptera novaengliae*) en respuesta al ruido. Las

modificaciones en las canciones podrían afectar la eficacia en la comunicación, en particular los cambios en los intervalos y el ancho de banda que están relacionados con la identidad de la población (Dunlop *et al.*, 2010; 2013; 2014; Fristrup *et al.*, 2003).

Se sugiere que en el Pacífico Nororiental la ballena azul (*B. musculus*) incrementa la frecuencia fundamental de sus canciones para evitar que se traslape con el ruido ambiental; mientras que la ballena de aleta (*B. physalus*) presenta una disminución observada en las características espectrales de las canciones a frecuencias inferiores al nivel de ruido de fondo, lo cual puede interpretarse también como un mecanismo de compensación por el ruido (Baumgartner *et al.*, 2008; Jiang *et al.*, 2010; Holt *et al.*, 2011; Munger *et al.*, 2011; Stachowicz *et al.*, 2014).

2.8 Rorcual tropical

El GC cuenta con una gran riqueza de mamíferos marinos, albergando por lo menos al 50% de las especies de cetáceos, del cual la ballena más avistada es el rorcual tropical (Guerrero-Ruiz *et al.*, 2006). La primera descripción del rorcual tropical (*B. edeni*) fue hecha por Anderson en 1879. Es un balenopterido que se distribuye en aguas tropicales y subtropicales alrededor del mundo (Fig. 5), de color gris oscuro, con una longitud entre 11.9 a 14.6 m en machos y de 12.2 - 15.6 m en hembras, no suele formar grupos mayores a 12 individuos, sino más bien es solitario. Es fácil de confundirla en campo con la ballena de aleta (*B. sei*) debido a que es una especie de rápida navegación, su característica morfológica única es la presencia de tres crestas que corren desde la punta del rostro hasta los orificios nasales. Se reconocen dos formas alopátricas del rorcual: la oceánica y la costera, diferenciables por su longitud. La oceánica (*B. edeni brydei*), es la normal (~14 m), la descrita originalmente por Anderson (1878) debido a las similitudes morfológicas y craneales con el espécimen original. Siendo entonces, *B. edeni*

edeni, la más pequeña (~12 m) y catalogándose como la de tipo costero (Best, 2001; Jefferson y Schirot, 1997; Perrin *et al.*, 2009).

En Sudáfrica, se encontró que esta peculiaridad en tamaño podía asociarse con preferencias en la alimentación, migración y reproducción (Penry, 2010) alentando así, a que los nuevos estudios indagaran sobre su categoría y clasificación (Sesaki *et al.*, 2006; Wada *et al.*, 2003; Vilorio, 2015).

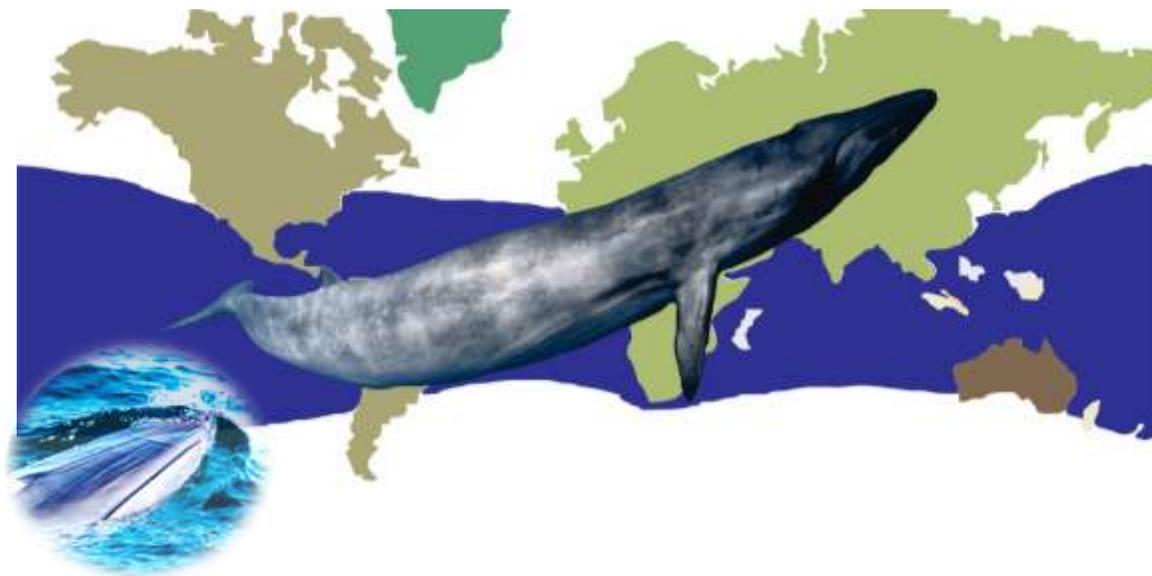


Figura 5. Distribución mundial de *B. edeni*. Datos obtenidos de la IUNC (Foto central tomada por Tony Wu, Sri Lanka, 2012. En la fotografía a la izquierda se pueden observar las crestas de su rostro, foto tomada en el Mar de Cortez, B.C., por *Carolin Weir*, 2010).

A partir de 1990, con el auge de la biología molecular, se sugirió que esta especie podría ser más bien un grupo de especies, subespecies o ecoformas, agrupándolos en clados hermanos, a lo que actualmente se refiere como “Complejo Bryde” (Rosel y Wilcox, 2014).

En el 2003, se dio a conocer una nueva especie asociada al complejo, anteriormente conocida como una ecoforma pigmea del complejo Bryde. Su filogenia es mostrada en la figura 6. La ballena Omurai (*B. omurai*), se puede reconocer como una especie por sus diferencias morfológicas, osteológicas y genéticas (Wada *et al.*, 2003).

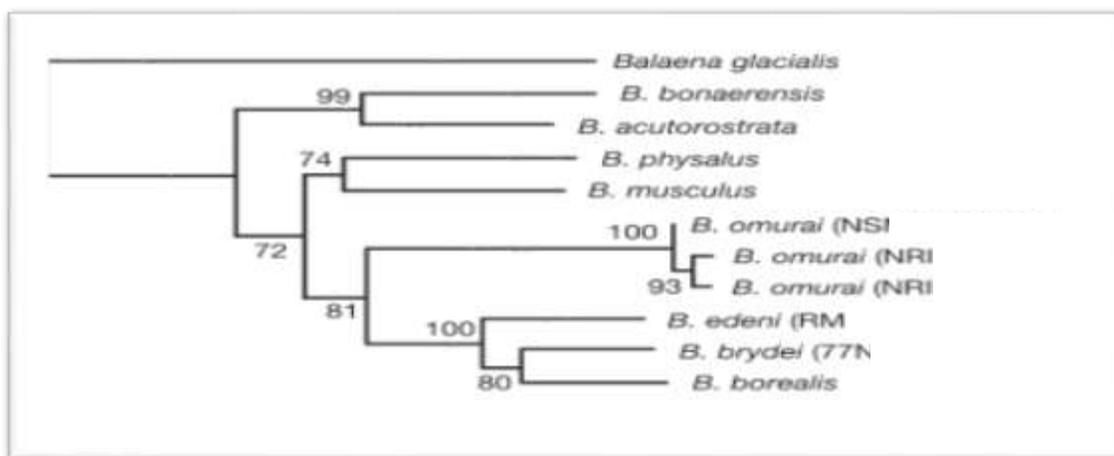


Figura 6. Árbol filogenético con base en mtDNA de *B. edeni*. Realizado por el método de Kimura 2, máxima parsimonia, utilizando secuencia completa del mtDNA de las ocho especies pertenecientes a *Balaenoptera* (Tomado de Wada *et al.*, 2003).

Sasaki *et al.* (2006) reforzando esta teoría, lograron diferenciar mediante análisis del mtADN a los ecotipos *B. e. brydei* de *B. e. edeni* (costero y oceánico respectivamente). Para ello analizaron muestras tomadas de especímenes del oriente y suroriente de Asia. La ballena tipo costera se distribuía en al Norte del océano Indico, Japón, Hong Kong y Australia, y *B. brydei* en Maldivas, Java y el Pacífico Norte (Yoshida y Kato, 1999).

Al incrementar el muestreo, los resultados no parecen ser concluyentes. Cuando se analiza en conjunto las poblaciones del Pacífico Peruviiano, Atlántico de Brasil y Océano Indico en Sudáfrica, la forma costera encontrada en Sudáfrica se relaciona más con *B. brydei* que *B. edeni*. Resultados similares ocurrieron para los especímenes del Golfo de Hauraki, Nueva Zelanda, donde a pesar de converger ambos ecotipos, los estudios genéticos sugieren que los individuos están más

cercanos a *B. brydei* (Wiseman *et al.*, 2011).

Se propone que en el GC se distinguen dos poblaciones (Dizon *et al.*, 1996), una residente (Breese y Tershy, 1987) y otra transeúnte del Océano Pacífico (López-Montalvo, 2012; Olavarrieta-García, 2012) así como la migración de individuos (Salvadeo *et al.*, 2011). Sin embargo, los estudios recientes mediante técnicas de biología molecular (mtDNA), concluyen que este stock pertenece a *B. edeni brydei*, el cual muestra una gran diversidad genética (Viloria, 2015).

La gran incertidumbre hasta el momento, hace hincapié en que los resultados genéticos encontrados se soporten por estudios ecológicos. Razón por la cual la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (IUNC) clasifica a este complejo como una especie con datos insuficientes (DD). Así mismo, se considera dentro del apéndice I de Convención sobre el Comercio Internacional de Especies Amenazadas de Fauna y Flora Silvestres (CITES) y además en la Norma Oficial Mexicana en aguas nacionales (NOM-ECOL-059).

2.9 Bioacústica

El monitoreo acústico nos permite identificar especies, realizar censos y estudios de comportamiento; así mismo podemos hacer inferencias relacionadas con la comunicación de las especies, desde detección presa/predadores, orientación, desplazamiento, aprendizaje, y determinar la respuesta a factores externos como el ruido. Es por ello que la acústica es una herramienta valiosa, pues es un reflejo directo de la interacción social de las poblaciones (Romero-Vivas *et al.*, 2012; Katti y Warren, 2004; Mercado, 2008; Simard *et al.*, 2008).

Evaluando las diferentes estrategias de comunicación podemos inferir la relación social que presentan. Hasta ahora, se ha comprobado el desarrollo de dialectos en orcas y en cachalotes (Caton *et al.*, 2015), lo que nos habla de una estructura poblacional. Por lo tanto, la acústica nos permite diferenciar grupos y estudiar su cohesión e integridad. Estas diferencias geográficas en vocalizaciones también se

encuentran reportadas ampliamente en ballena jorobada y posteriormente han sido observadas en otros mysticetos, entre ellos el rorcual tropical (Pace, 2008; Wiggins y Hildebrand, 2013).

Los trabajos sobre las vocalizaciones de *B. edeni* en el Golfo de California no han sido muchos, Cummings *et al.* (1986) registraron sonidos de baja frecuencia de 0.4 segundos (s) con predominancia tonal a 124 Hz, en Loreto, Baja California Sur; otros resultados señalan llamadas de amplitud modulada 200-900 Hz (Edds *et al.*, 1993), mientras que Heimlich *et al.* (2005) caracterizaron cinco tipos de llamadas, a las cuales se les referencia como “frases”, todas con frecuencias menores a 80 Hz clasificándolas de la siguiente manera: armónico tonal, barrido tonal alternado, sin barrido tonal alternado (*non-swept alternating tonal*), tono alto explosivo (*“High burst-tonal”*), tono bajo explosivo y armónico.

En la costa suroeste de la península de BC, se caracterizaron ocho llamadas de baja frecuencia, entre ellas, la Be4 (Oleson *et al.*, 2003). Este llamado, es el que ha sido catalogado como el más abundante y ha servido para monitorear el rango de expansión de *B. edeni* en trabajos como el Kerosky *et al.* (2012).

Viloria *et al.* (2015) publicaron el estudio más reciente sobre vocalizaciones atribuidas al rorcual tropical. La Be10, con una duración de 0.1-0.3 s, y una frecuencia inicial de 134 Hz y cuyos componentes superiores alcanzan los 500 Hz, grabada en adultos solitarios y asociada a una probable conducta alimentaria. La Be11, de 0.1 s, que presentaba dos componentes principales en amplitud y un pico de energía de 164 ± 22 Hz, se grabó en adultos solitarios. La Be12, de 1.29 s, con una frecuencia con su pico de energía en los 108 Hz, cuyo patrón de alimentación fue el mismo que el observado en la Be10.

En el GC se asume la existencia de dos poblaciones uno de ellos residente, dada la frecuencia y presencia de ballenatos a lo largo de todo el año, y otro que se desplaza buscando recursos en aguas adyacentes entre marzo y mayo (Urban-Ramirez y Flores-R, 1996). En un estudio reciente Viloria *et al.* (2012) reportaron

que la llamada Be4 tenía una duración significativamente diferente en la zona norte comparada con la del sur del GC, lo que reforzaba la hipótesis de dos posibles grupos asociados a estas zonas, aun no diferenciados genéticamente (Viloria, 2015).

El repertorio de sonotipos de *B. edeni* se continua ampliando con reportes de nuevos registros como el hecho por McDonalds (2006), que agrega cuatro posibles llamadas en Nueva Zelanda, o el llevado por Rice *et al.* (2014) que agregan cuatro posibles llamadas características de este grupo de ballenas en el Golfo de México, y el estudio de Viloria *et al.* (2015) previamente mencionado.

2.10 Características de la llamada Be4

Las vocalizaciones se pueden definir en términos de sus características sonoras en frecuencia, duración, e intensidad de los componentes (f_0 , c_1 , c_2 ...). Las modificaciones en estas características que concuerden geográficamente podrían ser útiles para estudiar la estructura poblacional, social e inclusive cambios de tipo climático y ambientales (Bahoura y Simard, 2010; Slabbekoorn, 2004; Wiley y Richards, 1978).

La llamada Be4 (Fig. 7), se reporta con una frecuencia fundamental promedio de 60 Hz (59.5-60.2 Hz), de componentes armónicos, y duración promedio de 1.4 s (Oleson *et al.*, 2003). Existen diferencias entre los componentes atribuidos a Be4, sin embargo, actualmente se reconoce que la llamada Be4 puede presentar de 4-7 componentes como se muestra en la figura 7 (Viloria *et al.*, 2015).

En cuanto a las variaciones significativas en la duración del componente principal encontradas por Viloria *et al.* (2012) éstas se asocian a dos diferentes zonas geográficas (norte: 2.43 s, y sur: 1.91 s). Se especula que estas diferencias pueden estar asociadas a diferentes grupos pero no ha podido ser determinado por pruebas genéticas. Sin embargo, existe la posibilidad de que las vocalizaciones estén

variando en respuesta al ruido presente en ambas zonas de GC, o algún otro factor aún no determinado.

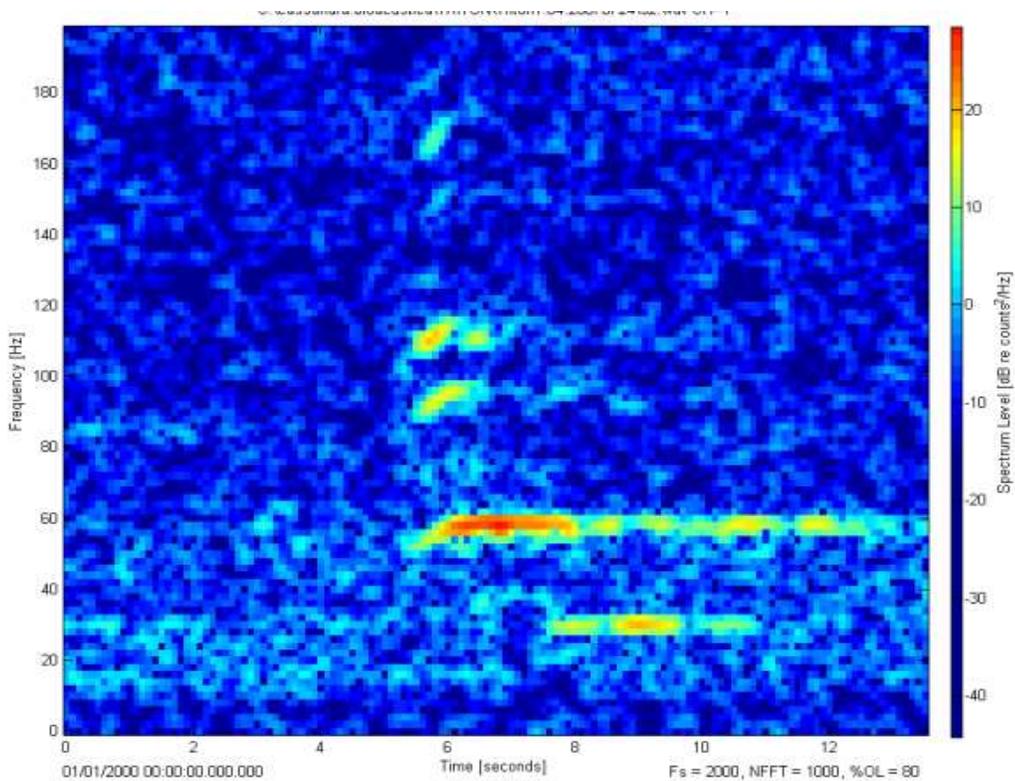


Figura 7. Espectrograma de la llamada Be4. Generado en Matlab® a partir de las llamadas identificadas por PRIMMA-UABCS, 2012.

3. JUSTIFICACIÓN

El GC es el resultado de una combinación excepcional de topografía, donde la latitud meridional y los sistemas de turgencias le otorga niveles excepcionalmente elevados de biodiversidad y productividad primaria (Guerrero-Ruiz *et al.*, 2006). Es el hogar con mas especies de cetáceos en México, posee fama internacional como el acuario del mundo (*Jacques Cousteau*) recibiendo a turistas nacionales e internacionales.

El avistamiento de ballenas es una actividad característica de la zona, dada la diversidad y abundancia de estos cetáceos. En Baja California Sur las actividades terciarias generan el 72.8 % de los activos, siendo el turismo el causantes de la mayor derrocha económica (INEGI 2009). El secretario de turismo, Enrique de la Madrid, anunció que para este año 2016, el turismo tendrá cifras récord (Valadez y López, 2016)

Debido a todas las implicaciones ecológicas y económicas, México tiene una política proteccionista en favor de los mamíferos marinos, siendo citadas 37 especies en la NOM-059- SEMARNAT-2001.

Sin embargo, uno de los principales retos que presenta el hábitat marino es la caracterización del sonido y sus implicaciones ecológicas y sistémicas. Esto debido a que a partir de la década de los 60's se registró un incremento acelerado del ruido oceánico (Urlick, 1996). Los mamíferos marinos al representar los depredadores tope, son indicadores del ambiente que les rodea, y *B. edeni* es el cetáceo más avistado en el GC.

Dada la importancia de generar información que permita evaluar las consecuencias del incremento del ruido marino, el objetivo de este trabajo es corroborar sí los niveles de ruido son distintos en las zonas sur y norte del Golfo de California y determinar su relación con los cambios encontrados en la llamada Be4 y asociados al Efecto Lombard: corrimiento en frecuencia, duración del componente principal y gradiente de energía.

Debido a la poca información de misticetos relacionada con su funcionamiento auditivo y fisiológico desconocemos con precisión las consecuencias e implicaciones de los sonidos marinos (naturales o antropogénicos) (Bapineedu, 2013). La categorización del ruido nos permitirá relacionar su origen, y si este tiene consecuencias ecológicas, o más bien si el ruido es parte de una evolución natural del sonido en el ambiente.

4. HIPÓTESIS

Las características de las vocalizaciones de la llamada Be4 emitida por el rorcual tropical (*B. edeni*) en las regiones norte y sur del Golfo de California, están relacionadas directamente con los niveles de ruido y por lo tanto presentaran modificaciones asociadas al Efecto Lombard.

5. OBJETIVOS

5.1 Objetivo general

Determinar si las diferencias en la llamada Be4 de *B. edeni* del norte y sur de Golfo de California están asociadas a los niveles de ruido ambiental, y en cuyo caso presentarían modificaciones asociadas al Efecto Lombard.

5.2 Objetivos Particulares

- Estimar los niveles de ruido ambiental en las zonas norte y sur del Golfo de California.
- Caracterizar la llamada Be4 de *B. edeni* en las regiones norte y sur del Golfo de California.
- Analizar si las llamadas de la zona de mayor ruido presentan las características asociadas al Efecto Lombard.

6. MATERIALES Y MÉTODOS

6.1 Área de estudio y toma de muestras

Las grabaciones pertenecen a dos localidades al norte y una al sur del GC: Bahía de los Ángeles ($29^{\circ}01.750'N - 113^{\circ}22.474'W$), Isla Tiburón ($28^{\circ}36.536'N - 112^{\circ}30.930'W$) y Punta Pescadero ($23^{\circ}48.448'N - 109^{\circ}37.687'W$) respectivamente, así como las temporadas de las cuales se obtuvieron muestras, como se aprecia la figura 9. Para el Sur: Punta Pescadero (PP), línea azul, de enero 2006-junio 2007, siendo un total de 18 meses. Para el Norte: Bahía Kino (BK), línea anaranjada, de julio-diciembre 2007, un total de 6 meses. En Bahía de los Ángeles (BA) se tienen en tres períodos, líneas grises, agosto-diciembre 2008, mayo-diciembre 2009 y diciembre 2011-junio 2012, siendo un total de 19 meses para la localidad, y un total de 25 meses para el norte. El muestreo de campo fue llevado por el Laboratorio de Física Marina de SCRIPPS en conjunto con el Programa de Investigación de Mamíferos Marinos (PRIMMA-UABCS).

Los datos se grabaron por hidrófonos conocidos como HARP son sistemas de grabación acústica autónomos (*HARP: High-Frequency Acoustic Recording Data*) durante 5 minutos y los ciclos entre cada grabación son aleatorios. La señal digital obtenida tiene una frecuencia de 2000 muestras por segundo (*fs*), y 16 nbits. El objetivo de estas grabaciones es el monitoreo de mamíferos marinos y ruido en el océano, en una mayor escala temporal. Son conformados por un sistema de hidrófonos para adquirir datos de alta frecuencia denominado ITC-1042 en un rango de 2kHz-100kHz, seis traductores en serie AQ-1s de alta sensibilidad, ancho de banda de 10Hz-3kHz (Wiggins y Hildebrand, 2006).

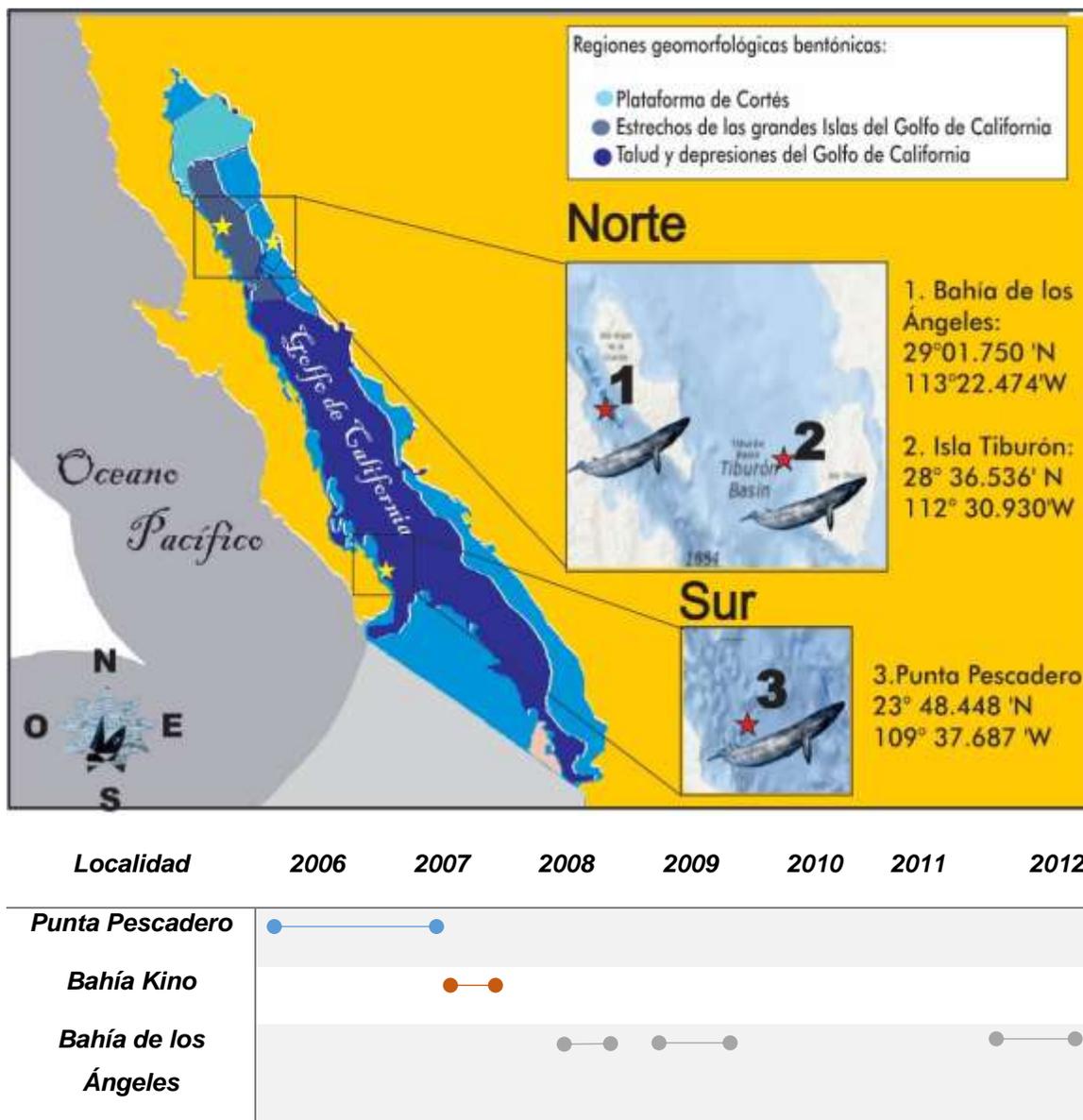


Figura 8. Zona de estudio 2006-2012. Se aprecian los sitios de posicionamiento del HARP con estrellas amarillas y las regiones geomorfológicas del Golfo de California indicadas por colores. En la parte inferior se grafican los meses monitoreados por localidad.

6.2 Identificación, tratamiento, y análisis de las llamadas

Las señales, se tomaron a partir de diferentes archivos de sonido tomados por el HARP, para los sitios de BA, BK y PP; dos sitios para el norte y uno para el sur

respectivamente. Primero se identificó la llamada mediante el software de Triton® (programa desarrollado por *Scripps Whale Acoustic Lab*), para posteriormente ser extraída y guardada para su posterior análisis en formato *wav*. En este formato se especificó el archivo de extracción, zona de monitoreo, fecha de inicio del archivo y hora en la que se encontró la llamada

En colaboración con PRIMMA se identificaron las llamadas de *B. edeni* que cumplieran con las características correspondientes a la llamada Be4 (Oleson *et al.*, 2003). La identificación se llevó a cabo en Triton®, por medio de espectrogramas con un solapamiento de 80%, ventana *Hann* y 1000 *nfft*.

Con ayuda de espectrogramas se separa el ruido previo de la llamada, para analizarse por separado (Anexo I). El ruido, se clasifica, se caracteriza en Matlab® en frecuencia, se cuantifica mediante *rms* y por último se obtiene su energía por tercio de octava. Las llamadas se caracterizan en frecuencia, duración y gradientes de energía de sus componentes, por último se obtiene la energía en tercio de octava. Ambos resultados son comparados para obtener conclusiones respecto al Efecto Lombard, como se muestra en el diagrama de flujo de la figura 9.

Una vez identificadas, se guardaron. Las llamadas se extrajeron, así como los 5 segundos previos a esta, correspondientes al ruido. A partir de ahí se analizó de forma independiente para el ruido y la llamada.

Posteriormente en la última etapa, se correlacionan las modificaciones de la llamada con los niveles y tipos de ruido. Los análisis estadísticos permiten validar los resultados obtenidos. El procedimiento se detalla a continuación.

6.3 Ruido

El ruido o 5 segundos previos de la llamada, se extrajeron por considerarse que sería el sonido el cual percibía el rorcual tropical, y al que se ajustaría, de ser necesario, para vocalizar.

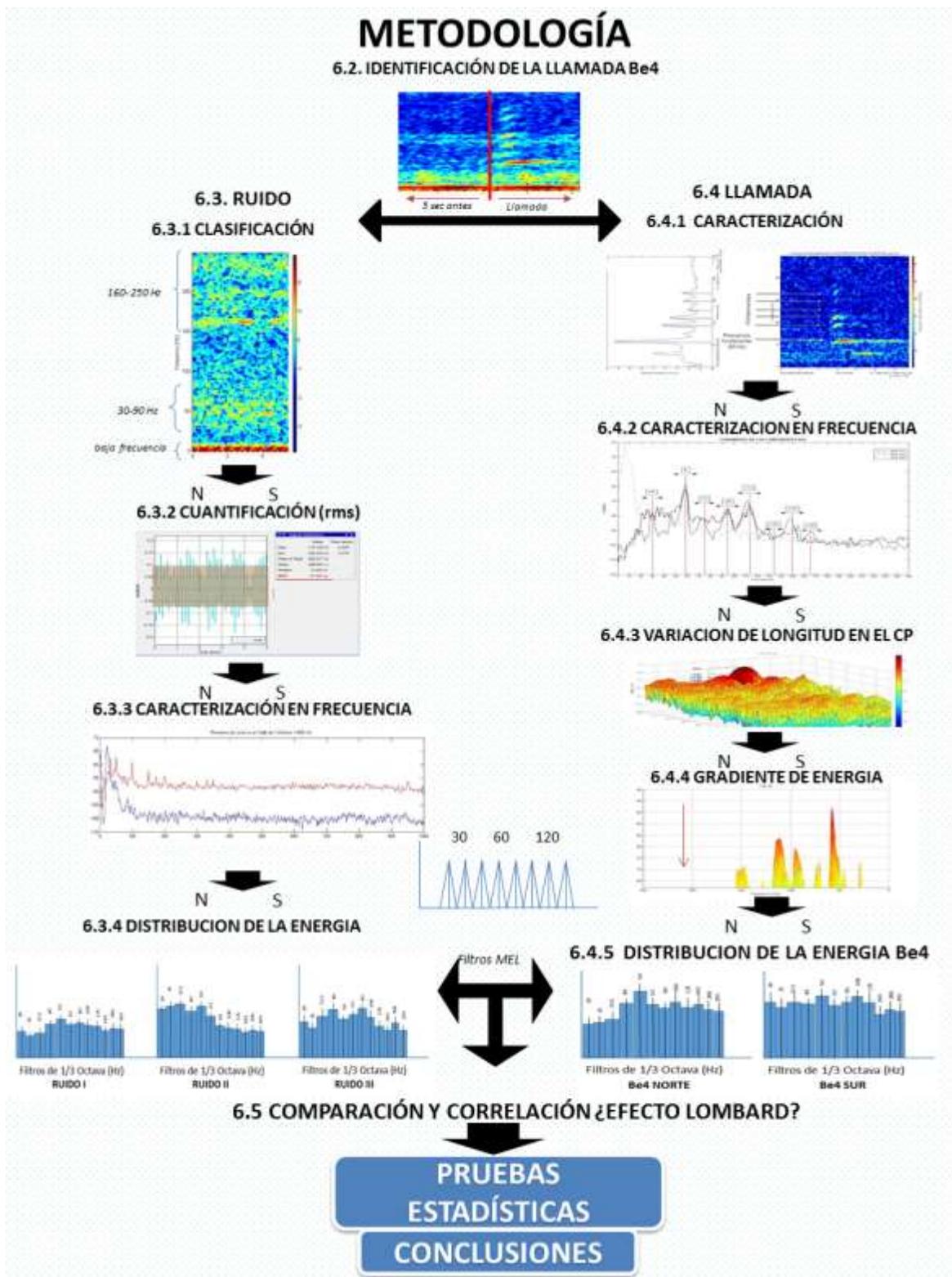


Figura 9. Diagrama de flujo de la metodología.

6.3.1 Clasificación del ruido

Se clasificó el ruido a partir de sus características en:

- 1) Temporales: a) constante y, b) intermitente
- 2) Frecuencia

La clasificación del tipo de ruido por sus características temporales se debe a que para un ruido intermitente bastaría que la vocalización ocurriera en periodo silente, mientras que para el ruido constante habría un enmascaramiento temporal. La clasificación en frecuencia se hizo en función de que se considera que el ruido que se produce en las frecuencias cercanas a la vocalización es el que tenderá a enmascarar la señal (enmascaramiento en frecuencia). Un criterio de elección fue exclusivamente ruido tipo ambiental, asumiéndose por lo tanto, que las ballenas tenderían a evitar el ruido focal evitando esa fuente de ruido (Erbe, 2009). Por lo tanto, incluso las llamadas que tuvieron ruido focalizado se excluyeron en este estudio. $1\mu\text{Pa}^2/\text{Hz}$

6.3.2. Cuantificación del ruido [rms]

Se obtuvieron los valores de energía [rms] con ayuda de Matlab® de cada archivo de ruido. El valor cuadrático medio (del inglés '*root mean square*' = rms), es una característica fundamental y nos permite saber la energía media asociada con el ruido total. La cuantificación se hizo por zona y por clase de ruido.

6.3.2.1 Cuantificación por zona y por localidad

Se calculó la energía total por zonas, así como por localidades para ver si existía alguna relación geográfica del nivel de ruido.

6.3.2.2 Cuantificación por tipo de ruido

Se cuantificó la energía por los tipos de ruido encontrados en el objetivo 1, para determinar si existe una relación del ruido con alguna fuente, y si las fuentes son comparables en las diferentes zonas y localidades. La determinación de las

diferencias se realizó por medio de gráficos de barra y pruebas ANOVA.

6.3.3 Caracterización en frecuencia

Los análisis de ruido se hicieron en espectro tipo *welch* (distribución de la potencia de una señal a lo largo de un intervalo de frecuencias) en Matlab® (50% de solapamiento, ventana *Blackman-Harris*, resolución de 0.8 Hz), los análisis por espectros son representaciones gráficas de amplitud frente a frecuencia calculados vía transformada rápida de Fourier (*fft*), que descompone la señal y permite apreciar a detalle las diferencias en frecuencia (Dallalbashi y Taha, 2012; Harris, 1978; McDonald *et al.*, 2008; Wysocki *et al.*, 2007). Posteriormente con los espectros de los componentes de forma individual se promediaron de acuerdo a la clase de ruido descrita en la sección anterior.

6.3.3.1 Análisis espectral en frecuencia por zona y por localidad

Se comparó los promedios de los niveles de ruido para cada zona y localidad del GC. Esto nos permitió tener un panorama general de cual zona presenta mayor ruido y determinar si las frecuencias a las que se produce este ruido podría causar el enmascaramiento de las vocalizaciones de *B. edeni*.

6.3.3.2 Análisis espectral en frecuencia por tipo de ruido

Se comparó en pares de acuerdo a la clasificación de ruido entre ambas regiones y su significancia estadística entre localidades por medio de una ANOVA, nos permitió visualizar el nivel de ruido específico para cada tipo de ruido, la categoría dominante para la zona y/o localidad y frecuencias en que se encuentra. Esto logro formarnos un panorama de como una clase de ruido interfiere específicamente con las vocalizaciones.

6.3.4 Distribución de la energía por tercio de octava

Para conocer el ruido que estaba directamente involucrado con el enmascaramiento

de la señal lo cuantificamos de una forma análoga a como lo hace la membrana basilar. Para ello se realizó una cuantificación [rms] por filtros de tercio de octava en Matlab® de acuerdo a las frecuencias centrales donde se encuentren presentes los componentes de mayor energía de la llamada Be4, los cuales habían sido reportados como 30, 60, y 115 Hz, aproximadamente. Los filtros de tercio de octava representan la resolución de la membrana basilar, lo que nos permitió, hacer una comparación posterior de los niveles de ruido involucrados en el enmascaramiento de cada componente de la llamada.

6.3.4.1 Filtros de tercio de octava por zona y por localidad

Se utilizó la herramienta Oct3bank® (*Christophe Couvreur*) en Matlab® para calcular la energía por tercio de octava [rms]. Debido a que el rorcual tropical vocaliza en frecuencias bajas, y particularmente la llamada estudiada, pues su frecuencia fundamental está en los 60 Hz. Se realizó una adaptación de los intervalos, utilizando una frecuencia de muestreo de 2000 por segundo con filtros de tercio de octavas hasta un límite superior de 630 Hz.

6.3.4.2 Filtros de tercio de octava por tipo de ruido.

Mediante la misma herramienta (Oct3bank® y Matlab®) se agrupó la energía por tipo de ruido, con la finalidad de comparar los niveles de energía de las diferentes clases de ruido independientemente de la localidad.

6.4 Llamadas

Los procedimientos llevados en la clasificación de la llamada y la caracterización de la misma son aquellos significativos para nuestro estudio e involucrados en Efecto Lombard: corrimiento en frecuencia, duración, gradiente y distribución de la energía (Brumm y Zollinger, 2011). Las señales utilizadas para la llamada Be4 se delimitaran a las frecuencias de sus componentes (<200 Hz), para lo cual se utilizó un filtro pasabanda (*ellip*) en Matlab®. Este objetivo caracterizó las llamadas para poder determinar si estas características son diferentes regionalmente.

6.4.1 Caracterización de la llamada Be4 con base en sus componentes

La llamada Be4, tiene propiedades estables en estructura que permiten clasificarla aural y espectrográficamente. Es una señal que se descompone en varias ondas senoidales a las que llamamos componentes, cada uno de ellos se puede caracterizar en frecuencia, amplitud y duración. El componente principal de ~ 60 Hz nos permite identificar la llamada Be4, sin embargo, debido a la diversidad en sus componentes discretos, se determinaron aquellos que nos permitieron agruparla para su comparación. Los componentes se clasificaron en: presente, ausente y posible enmascaramiento. El enmascaramiento se dio cuando no se podía determinar la presencia de una banda debido a ruido en las frecuencias del componente en cuestión. La ausencia a su vez se determinó cuando la diferencia de energía entre la llamada y el ruido (SNR) permitieron apreciarlo, o que tuvimos una buena señal, pero sin embargo, no se pudo observar.

6.4.2 Caracterización de los componentes en frecuencia

El análisis se llevó a cabo de lo general a lo particular. Primero se analizó la frecuencia de todas las llamadas para caracterizar cada uno de los componentes. Posteriormente se estudió la frecuencia de los componentes a nivel zona y las diferencias en frecuencia de los mismos. Y por último a nivel localidad, para conocer si existe diferencia significativa entre ellos y en qué nivel se encuentran.

Para poder comparar los componentes entre zonas y determinar si existía diferencia, el primer paso consistió en caracterizar cada uno de los componentes de acuerdo a su frecuencia.

Para ello se analizaron las zonas independientemente y se determinó la frecuencia mediante espectros *Blackmann-Harris* a 0.8 Hz de resolución en Matlab® (Fig. 10).

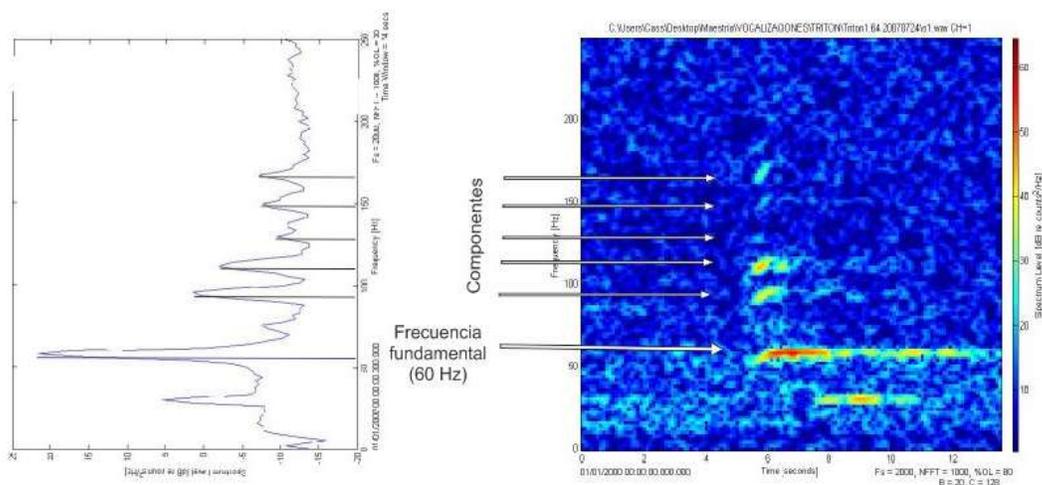


Figura 10. Determinación de la frecuencia de los componentes. Se observa en el espectrograma la presencia de los componentes y la correlación de estos en el espectro, cuyo pico permite la determinación más precisa de la frecuencia de los componentes.

6.4.2.1 Caracterización de la frecuencia de los componentes por zona

Se calculó por medio de espectros el promedio de las frecuencias de los componentes discretos, la desviación estándar y el error. Posteriormente se compararon estos datos por zona. Se realizó una *t-student* para analizarlos y poder determinar si existían frecuencias significativamente diferentes.

6.4.2.2 Caracterización de la frecuencia de los componentes por localidad

Se caracterizó el promedio de cada componente por localidad y después se realizó una *ANOVA* para buscar su significancia. Posteriormente se busca comparar los resultados entre las zonas y las localidades.

6.4.3 Variación de la longitud del componente principal

Con ayuda de espectrogramas 3-D en Matlab® se midió la longitud del componente principal, para el cual se siguió la metodología de normalización de la señal a 0 *dB* al valor máximo del componente principal, propuesta por Romero-Vivas *et al.* (2012)

y posteriormente se hicieron cortes a diferentes gradientes inversos de energía -29, -24, -19 *dB* (Fig. 11), de tal manera que nos proporcionaron características precisas en función a la señal aun cuando pudieran presentar diferentes componentes u otras señales de ruido, a diferencia de la métrica convencional de definir la longitud de la llamada como el tiempo mínimo y máximo visible en un espectrograma.

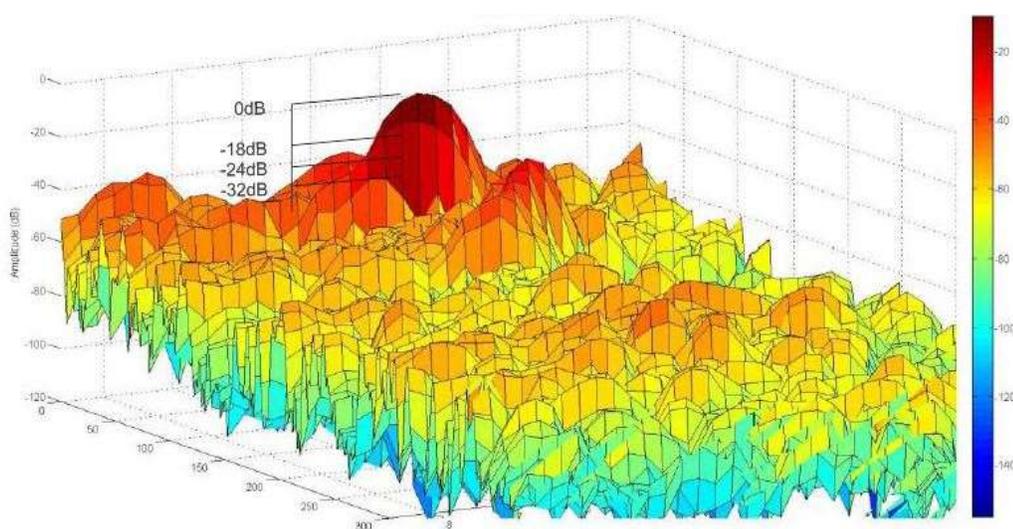


Figura 11. Espectrograma 3D en Matlab®. Se muestran los 3 diferentes tipos de corte que se le harán a la llamada Be4 con objetivo de normalizarla, a -19 *dB*, -24 *dB* y -29 *dB*.

6.4.4 Gradiente de energía de los componentes

Los espectrogramas 3-D también nos permitieron por medio de los cálculos de los máximos de energía en un rango de frecuencia, obtener las diferencias en *dB* entre componentes (Fig. 12), tomando como referencia la intensidad máxima del componente principal. Lo que buscamos fue conocer el componente al que está mandando más energía, lo que nos permitió saber si la frecuencia de la vocalización estaba cambiando de manera general, y posteriormente hacerla comprable con el

- b) Se calculó la energía (dB) de todos los componentes presentes mediante la fórmula:

$$(2) \textit{Gradiente} = 10 * \log_{10} (\textit{valor máx} \pm 4 \textit{ Hz del promedio del componente})$$

- c) Para su normalización se tomó como referencia el CP (f_0), para lo cual se le resto este valor a cada componente discreto
- d) Se comparó la amplitud de los componentes discretos respecto a la zona y la localidad.

Por último, para determinar si las variaciones de los componentes eran significativas, se realizaron las pruebas de *ANOVA* y para determinar cuáles era diferentes se realizaron una prueba de *Tukey*, de *Scheffé & Bonferroni* y *Holm*.

6.4.5 Filtros de octava de la llamada

La señal se cuantificó calculando la energía por medio del [*rms*] correspondiente a los filtros de un tercio de octava <200 Hz. El objetivo fue determinar cuanta energía de la llamada Be4 se integra por cada componente, en cada filtro (tercio de octava). Una señal primero se descompone distribuyendo su energía a lo largo de la membrana basilar. Por lo que estos filtros de octava corresponden al área de la membrana basilar en la cual la energía es integrada, y que psicoacusticamente es la que nos permite diferenciar un sonido de otro. Los filtros de frecuencia corresponden entonces a la resolución de la membrana basilar, entre más filtros excite determinado sonido, mayor será su sonoridad.

El primer paso consistió en elegir la duración sobre la cual se integraría la señal, para ello nos ayudamos del software *Audacity 2.1.2*®, en el cual tomamos los valores (*fs*) sobre la cual integraríamos la energía en Matlab. Los parámetros iniciales en *Audacity*®, fueron: algoritmo en frecuencias, ventana de 1024, *Blackman-Harris* y ganancia de frecuencia en 0 (*dB/dec*).

Posteriormente en Matlab®, realizamos el corte de la señal, visualizamos por espectrograma, y ajustando los valores de ventaba (512-526) para cada

componente. La energía [*rms*] del componente se calculó con ayuda de los scripts de *Oct3bank*® (*Christophe Couvreur*), valores “extendidos” para filtros de baja frecuencia, tomándose las integraciones correspondientes únicamente para aquellos filtros <200 Hz.

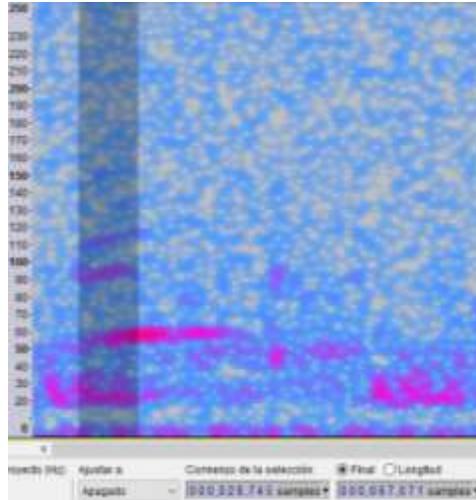


Figura 13. Selección del rango de muestreo para cada componente de Be4.

En este ejemplo (Fig. 13) se considera la duración del c3-94 Hz en Audacity®, para el cual se toman los valores arrojados en la parte inferior en (*fs*), son estos valores los utilizados en Matlab®, y una vez revisados, los que se usan para crear la matriz de datos de duraciones (inicio y final de cada uno), a partir de la cual se calcularan la longitud del componente, y su inicio respecto al CP.

Para determinar en qué filtros de tercio de octava estaba involucrado cada componente se desarrolló por las ecuaciones:

$$(3) F_{low} = F_{ref} * ((2^{\wedge} - (1/6)))$$

$$(4) F_{high} = F_{ref} * (2^{\wedge} + (1/6))$$

6th orden, 40 dB de atenuación de la banda y 3 dB de rizo (*ripple*)

Por último, se desarrolló el *script* en Matlab® para calcular la energía por tercio de octava (Anexo I). Estos extrajeron los filtros que correspondían a la energía donde cada componente era integrado para compararse.

Además se calculó la energía de una longitud igual a la del ruido, para compararla con la de los 5 s calculada previamente. Por definición, y a diferencia de la señal, el ruido de fondo, no debe variar su señal con la duración. Cuando la energía calculada variaba significativamente, se consideraba como ruido focalizado y entonces era descartado del análisis.

6.5 Comparación y correlación del ruido y la llamada Be4

Para asegurarnos los cambios en las llamadas están relacionados al ruido y no a la distancia de la vocalización, se usaron únicamente llamadas con una relación mayor de energía, entre la llamada y el ruido. El ruido se agrupo por categorías y este a su vez por niveles con el fin de determinar si había asociaciones o relaciones con los cambios encontrados en las llamadas de *B. edeni*.

6.5.1 Relación señal ruido (SNR)

Para hacer la comparación de las llamadas, se consideró la proporción entre el ruido y la señal (SNR). Para se hizo un filtro pasabanda (<250 Hz), y se calculó la energía [rms] de 5 segundos previos de la llamada. Se considera que el tipo ruido al ser constante no varía su energía con el tiempo (por lo que no se consideró para el tipo de ruido IV). Posteriormente se calculó la energía de la llamada por filtro de octava. Se sacó la proporción del ruido y la llamada.

Además la presencia de al menos 2 compontes discretos adicionales al componente principal (c3-94 Hz y c4-112 Hz).

Cuando el ruido era muy intenso, como el caso del ruido tipo II, se filtró el tipo de ruido II, mediante un pasabanda (25 a 250 Hz) para asegurarnos que las llamadas en los rangos de frecuencia donde están involucrados sus componentes, tuvieran

suficiente señal para ser comparables.

El Efecto Lombard, se basa sobre el supuesto que la llamada varía cuando el ruido enmascara los componentes de la llamada, y el ruido filtrado esta fuera del rango de los componentes de la llamada

6.5.2 Clasificación de los niveles de ruido

Debido a que en los resultados de estudios anteriores no se encontró diferencia genética significativa entre las localidades en el GC, pero si diferencia significativa en la duración de la llamada. Se decidió abordar este estudio desde ambas perspectivas: primero localidades como grupos independientes, y posteriormente como una sola población con diferentes niveles de ruido. De esta forma se determinaron para cada categoría de ruido, tres grupos correspondientes a los niveles de ruido: bajo, medio y alto.

Se comparará los niveles de energía [*rms*] 5 segundos previos a la llamada (ruido), usando un filtro pasaba tercer orden <250 Hz y se analizaron por cuartiles, dividiéndose en tres grupos de ruido: alto, medio y bajo.

6.5.3 Valoración del enmascaramiento de los componentes

Con el objetivo de encontrar si existe un patrón del ruido asociado con la presencia/ausencia/enmascaramiento de los componentes, se eligieron los componentes discretos con mayor diferencia en representación entre las tres localidades de estudio.

Si los componentes están enmascarados a consecuencia del ruido, estamos esperando que se formen dos clústeres distintos, donde las llamadas con ruido alto enmascaren el componente asociado; mientras que aquellas llamadas que presenten una buena relación señal-ruido sean donde se pueda apreciar el componente. Para ello es necesario primero, caracterizar la diferencia necesaria entre el ruido y la señal a partir de la cual se puede apreciar el componente. Por lo

tanto, el primer paso fue, caracterizar los componentes seleccionados. Para estos cálculos de la energía [*rms*] por octavas se consideró una duración de segmento análoga para el ruido, y se obtuvieron las proporciones.

Para determinar si la energía de este componente estaba asociada a la energía de la llamada se hará una regresión lineal entre la energía [*rms*] del tercio de octava del componente principal vs la energía del componente discreto estudiado.

6.5.4 Corrimiento de la frecuencia de los componentes y el ruido

6.5.4.1 Cambios en la frecuencia a diferentes niveles de ruido

Se analizarán el corrimiento de la frecuencia con respecto al ruido filtrado de la llamada. Primero se comprobó la normalidad de los datos (prueba de *Kolmogorov-Smirnov*, Matlab®, *kstest*: 1). Se agruparon las llamadas de las tres localidades, para ser analizadas por componentes.

Se analizará si las frecuencias de los componentes se corren a diferentes niveles de ruido [*rms*], posteriormente se hará un análisis estadístico para saber si hay diferencia entre estos grupos por zona (*t-student*, α 0.05) y por localidad (*ANOVA*).

6.5.4.2 Cambios en la frecuencia por tipo de ruido

De acuerdo a la clasificación obtenida por tipo de ruido se compararán las frecuencias de los componentes y se realizará una regresión lineal en base a los niveles de energía [*rms*] del tipo de ruido. Esto debido a que el tipo de ruido en frecuencia involucrado con el enmascaramiento de la señal puede interferir de diferente manera.

6.5.5 Variación de la longitud del CP con relación al ruido

Con los resultados obtenidos en el objetivo 2, se comparará la duración de la llamada con el ruido de acuerdo a su clasificación anterior para los diferentes cortes y se determinará la correlación estadística con los niveles de ruido. Se comprobará la normalidad de los datos mediante la prueba de *Shapiro-Wilks* para cada corte de gradiente inverso y se agruparán los datos por longitudes y se obtendrá el coeficiente de correlación rho de *Spearman* (prueba no paramétrica).

6.5.6 Gradiente de energía y su relación con el ruido

La medición de la energía por tercio de octava es la energía total a la que es excitada un rango de frecuencias de manera disímil, sin embargo no nos permite discrepar que componentes y de qué manera intervienen, pues cuando los componentes de B4 no son unilaterales con los tercio de octava. La comparación del gradiente de energía es entonces la diferencia en *dB* entre el pico de energía de un componente y vs el pico de energía del CP. Conocer estas diferencias en *dB* nos permita saber la manera en que pudiera estar migrando la energía entre los componentes

6.5.6.1 Cambios de gradientes de energía con los respecto a los niveles de ruido

Se compararon los datos obtenidos en el punto del gradiente relativo de energía (7.3.4). Se agruparon estas diferencias en *dB* de los gradientes de los componentes por niveles para valorar si existe compensación de energía, o desplazamiento de ella.

La variable a considerar fue el promedio y la desviación estándar entre los grupos, considerándose que aquellos componentes con mayor desviación bajo ciertas condiciones de ruido variarían la energía de manera distinta

6.5.6.2. Cambios de gradientes de energía con los respecto a los tipos de ruido

Se valoraron los componentes conservados para ver su variación con los diferentes niveles de ruido. Se comprobaran las relaciones mediante estadística no paramétrica (*Rho de Spearman*).

6.5.7 Filtros de octava y distribución de la energía

Una de las características que estamos buscando en el Efecto Lombard es que la energía de los componentes de la llamada, se distribuyan a lo largo de la membrana basilar, consiguiendo así mayor sonoridad. Esto biológicamente representaría una ventaja, ya que el receptor lo escucharía “más fuerte”, sin que el emisor invierta energía innecesaria en aumentar la intensidad de la misma. Por lo que, una vez caracterizados los componentes de la llamada Be4 y asociando los filtros de octava involucrados en la señal, se buscara valorar si la distribución de los componentes está relacionada con el ruido. Se usarán por lo tanto la energía del ruido y de la llamada calculada por tercio de octava (Anexo I).

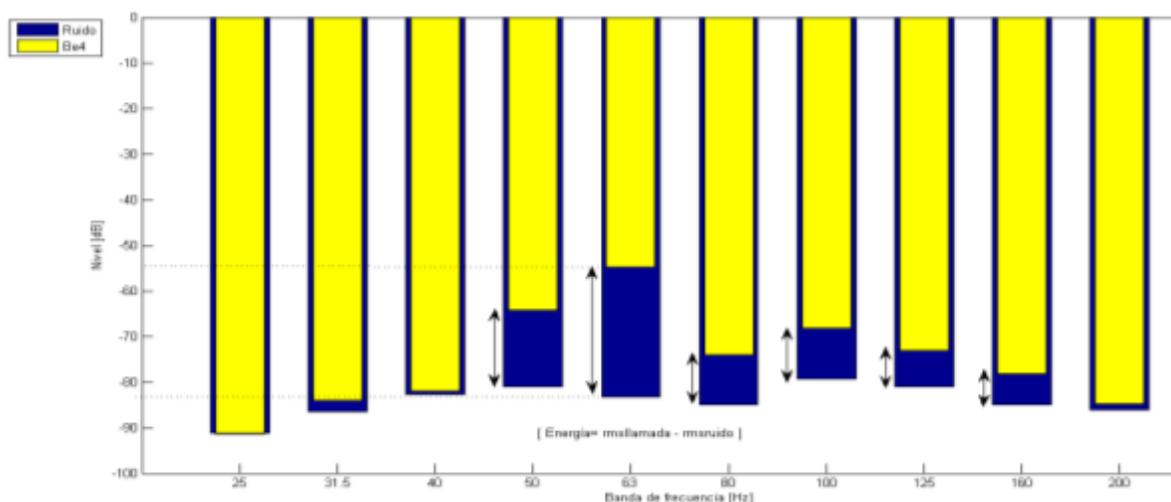


Figura 14. Energía de la llamada Be4 por tercio de octava. En este ejemplo el tercio de octava cuya frecuencia central es 63 Hz, tiene una energía promedio correspondiente a la llamada de -55 dB y del ruido -82. Por lo tanto la energía de la llamada es mayor al ruido para este tercio de octava en 27 dB.

Con los datos obtenidos se calculó la diferencia de energía en filtro de octava (nótese que un filtro puede estar asociado con más de un componente).

Se generaron tablas y gráficas para visualizar las diferencias (Fig. 15). Las proporciones se calcularon de dos maneras:

- 1) La diferencia en dB del componente principal se consideró como 1, y se realizaron proporciones para cada componente.
- 2) Sumándose las diferencias de energía en dB de los filtros se calculó la proporción de energía que corresponde a cada filtro en porcentaje (Fig. 14).

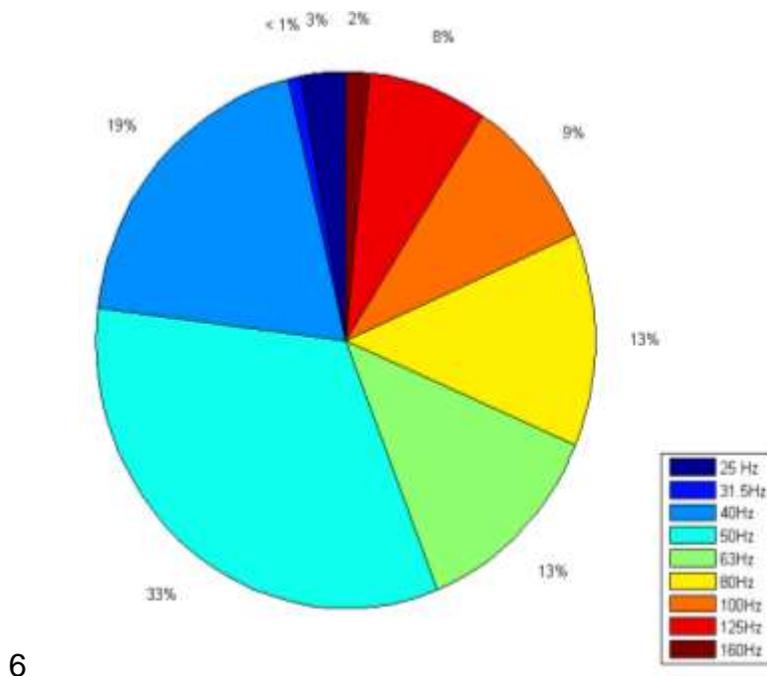


Figura 15. Porcentaje de energía de la llamada por banda de frecuencia. Ejemplo de una llamada Be4 donde el componente de 50 Hz recibe el 33% de la energía total de la llamada.

Los resultados de las diferencias de los promedios en tercio de octava se graficaron en tercios de octava (graficas de barra), para analizar y comparar las características por localidad, nivel, y tipo de ruido.

7. RESULTADOS

En la figura 16 se muestra el diagrama de flujo que corresponde a los resultados de los análisis de las señales. Se identificaron un total de 2575 llamadas atribuidas a Be4, de las cuales se preseleccionaron por su calidad 921 en el norte y 693 al sur del GC. Por último, se eligieron únicamente 123 llamadas y 99 correspondientemente, las cuales contaban con al menos dos componentes adicionales al fundamental. Se analizó independientemente el ruido, para saber si estaba relacionado con modificaciones y variaciones de la llamada

7.1 Identificación, tratamiento, y análisis de las llamadas

La identificación de las llamadas Be4, atribuidas a *B. edeni*, se realizó por medio de espectrogramas mediante la identificación de su comportamiento aural y se reconoció auditivamente. Debido a la heterogeneidad encontrada en los componentes se realizó una clasificación que pudiera permitir hacer comparaciones significativas con base a los componentes discretos de Be4, por lo que seleccionaron aquellas con al menos dos componentes discretos adicionales al fundamental (~ 60 Hz).

La selección de las llamadas Be4 de los diferentes archivos, de acuerdo a su localidad, se muestra a detalle en la tabla I. Se analizaron un total de 17 archivos, extrayéndose llamadas que tuvieran al menos 2 componentes adicionales ($>2c$) al (f_0) o fundamental. Se eligieron: 67 llamadas de BA y 56 llamadas de BK; y para PP 99 llamadas.

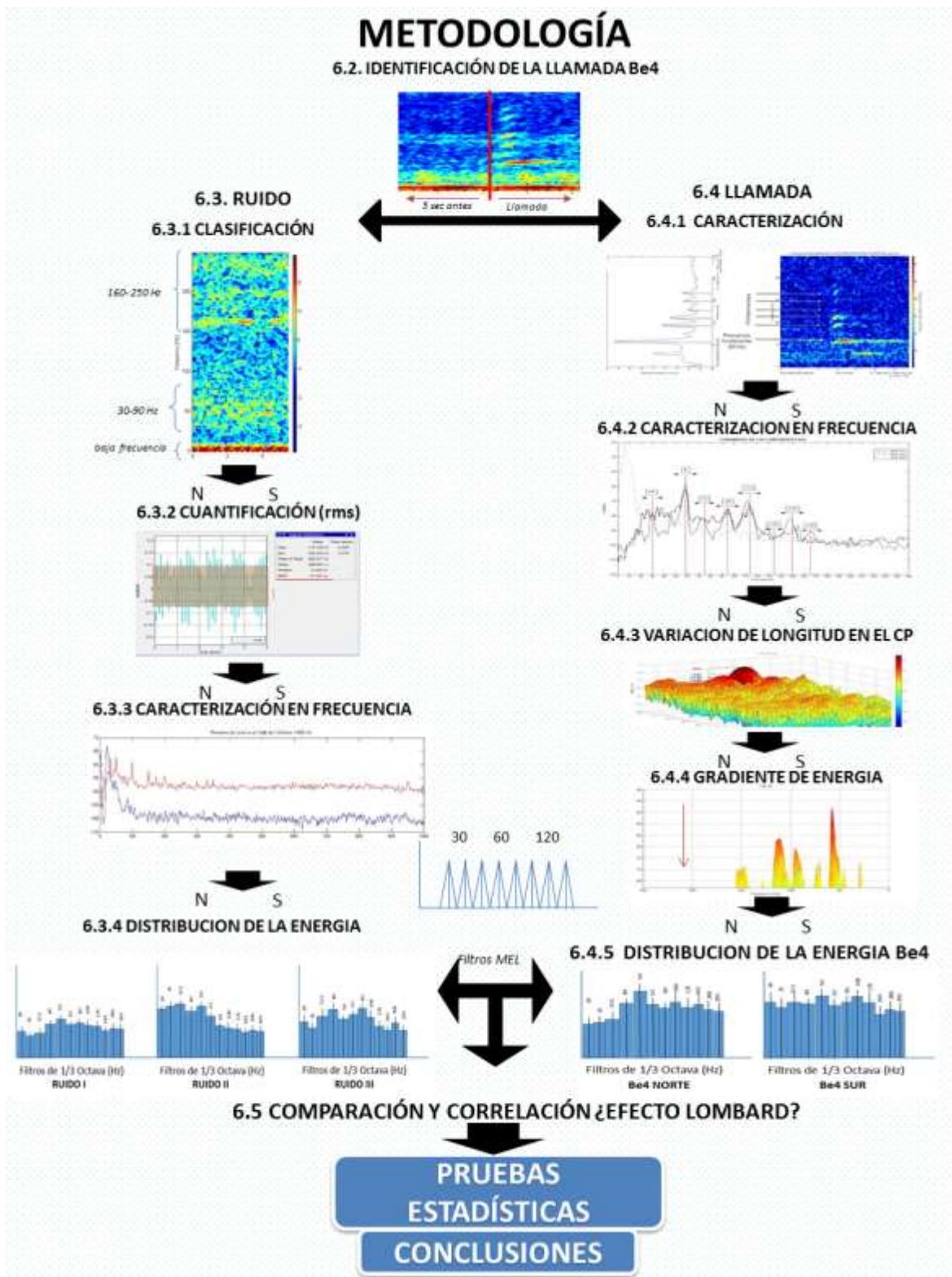


Figura 16. Diagrama de flujo de los resultados.

Tabla I. Selección de llamadas con base a los componentes de Be4.

Bahía de los Ángeles	60 Hz	<2 C	Punta Pescadero	60 Hz	>2 C
GofCA_08_stGC_080215_102121.x	98	18	GofCA_06_stGC_061210_000000	88	16
GofCA_09_stGC_080807_181730.x	278	30	GofCA_06_stGC_061226_224506.x	67	19
GofCA_09_stGC_080821_132351x	33	14	GofCA_06_stGC_070103_210928.x	93	10
GofCA_09_stGC_080904_030236.x	44	5	GofCA_06_stGC_070123_111549.x	43	5
Subtotal 1	453	67	GofCA_06_stGC_070209_095934.x	129	3
Bahía Kino	60 Hz	<2 C	GofCA_06_stGC_070226_090319.x	10	2
GofCA_07_stGC070620_161400	117	14	GofCA_06_stGC_070315_080704.x	12	3
GofCA_07_stGC_070718_030236.x	124	22	GofCA_06_stGC_070401_071049.x	74	6
GofCA_07_stGC_070923_230121.x	106	20	GofCA_06_stGC_070418_055434.x	69	16
Subtotal 2	347	56	GofCA_06_stGC_0700505_045819.x	18	19
TOTAL NORTE	800	123	TOTAL SUR	603	99

7.2 Ruido

El análisis del ruido se hizo 5 segundos previos a las llamadas, sin embargo si la grabación iniciaba con la llamada (cambio de ciclo del HARP), o había alguna clase de interferencia ajena al ruido ambiental se tomaron 5 segundos posteriores a las mismas. Las llamadas con ruido focalizado tipo biótico no se consideraron para este trabajo, no obstante, cabe destacar que se presentan de manera recurrente en varios archivos, siguiendo un patrón temporal que se puede relacionar con la presencia de diferentes especies (ballena azul, jorobada y de aleta), especialmente en Punta Pescadero (35% de los casos), y en BK era recurrente un tipo de ruido de baja frecuencia <100 Hz (15%).

7.2.1 Clasificación del ruido

Se determinaron 6 tipos de ruido de acuerdo a su frecuencia, espectro y temporalidad, los cuales no son excluyentes (Fig. 17). Esta clasificación se usó para clasificar los archivos de ruido.

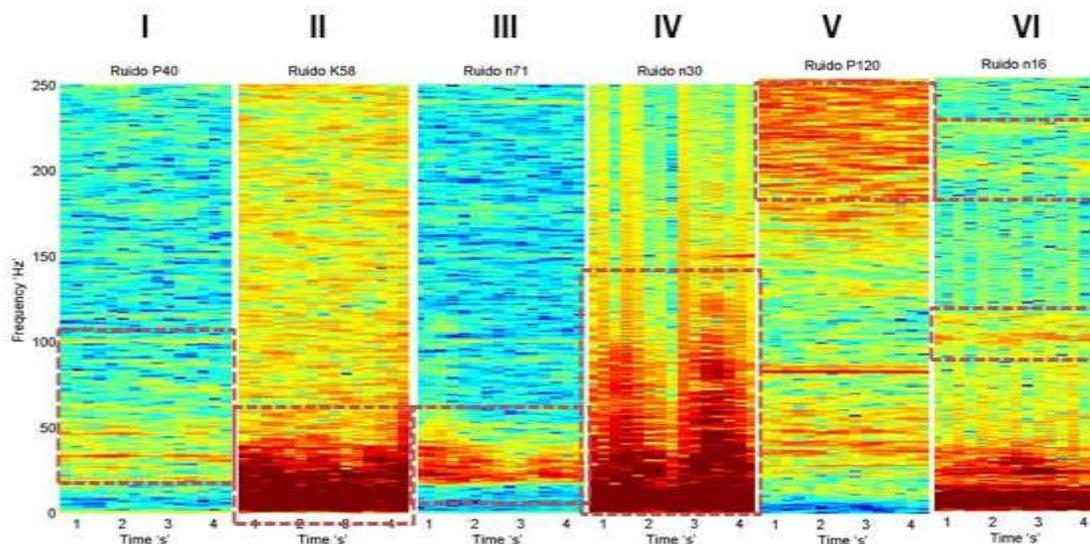


Figura 17. Clasificación del ruido. I) Constante, II) ruido constante en una banda a bajas frecuencias, III) ruido intermitente (>50 Hz), IV) intermitente intenso 0-200 Hz, V) ruido en frecuencias altas >250 Hz y, VI) ruido de 90-200 Hz

En el norte, la clase de ruido se distingue por ser intermitente, todas las llamadas tienen el tipo de ruido II y III en BA y II, III y IV en BK. La mayor proporción es el tipo II con frecuencias 0-55 Hz (83% en BA vs 58% en BK) junto al ruido de baja frecuencia entre <25 Hz tipo III (24%). El ruido intermitente intenso 0-200 Hz (IV) es más frecuente en esta zona (19%). Estos tres tipos de ruido suelen encontrarse acompañados por el ruido tipo V y VI.

El sur se caracteriza por presentar una banda de intensidad moderada y constante entre 20-110 Hz (I), que no se encuentra en el norte. El ruido a frecuencias superiores (800 a 1000 Hz) se encuentra en ambas zonas en proporciones semejantes. Se puede apreciar también que los tipos de ruido en el norte son semejantes. La representación gráfica de estos resultados se muestra en la figura 18.

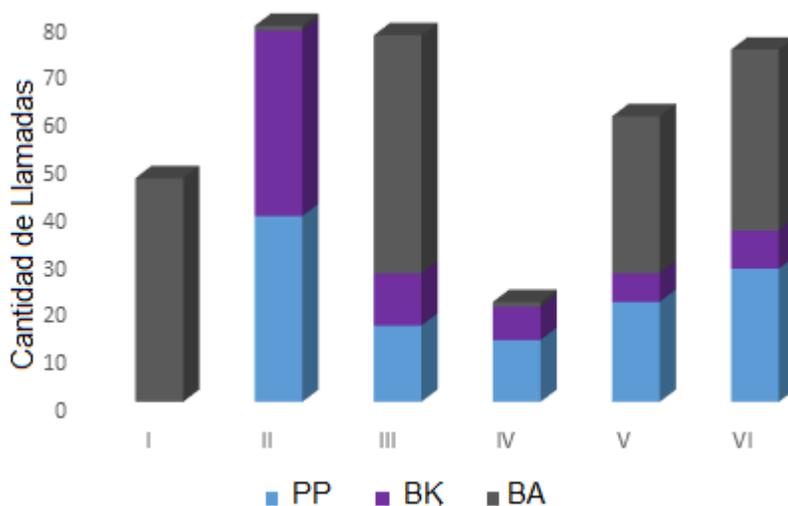


Figura 18. Llamadas por tipo de ruido. (BA n: 67, BK n: 47 y, PP n: 99)

7.2.2 Cuantificación del ruido [rms]

7.2.2.1 Cuantificación por zona y por localidad

Se puede apreciar que en promedio existen mayores niveles de ruido en B. Kino, seguido de B. Ángeles, ambas en el norte. En la zona sur (Punta Pescadero) no

existe tanta variación y el nivel de ruido es menor. Los análisis estadísticos muestran que los niveles de ruido entre las distintas localidades son diferentes ($P < .01$), como se puede apreciar en la figura 19.

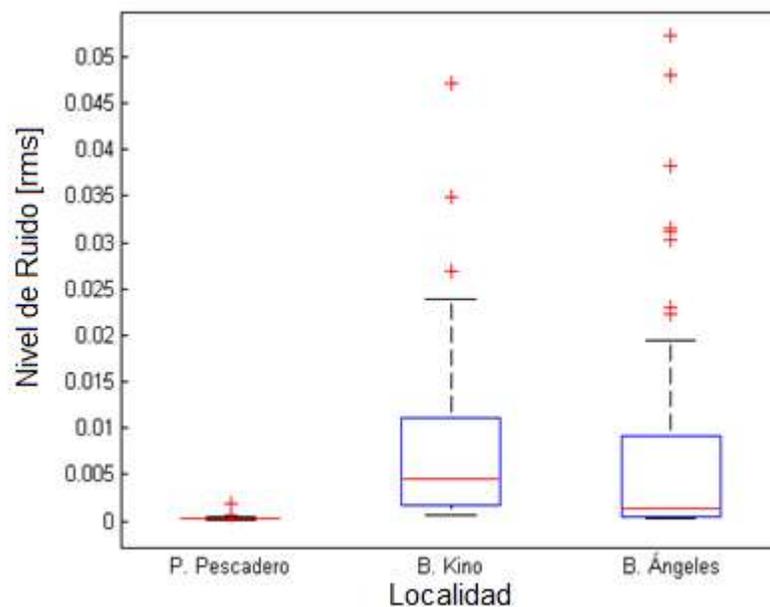


Figura 19. Niveles del ruido por localidades. Los datos no se distribuyen normalmente (KS) La diferencia se determinó mediante una prueba de Tukey: $F: 21.9$, $p < .001$. Los promedios de los datos son PP 3.05×10^{-8} , BK 77×10^{-8} ; BA 70×10^{-8} .

7.2.2.2 Cuantificación por tipo de ruido

De acuerdo los niveles de ruido según su clasificación (Fig. 17), encontramos en el norte que la categoría que más ruido presenta es la IV, coincidiendo con los análisis estadísticos (prueba de *Tukey*, *Scheffé* y *Bonferroni & Holm*) las cuales indican que esta categoría es significativamente diferente ($p < 0.01$) del resto, para ambas zonas en el norte. En BA las categorías II, III, V y VI no son diferentes en el nivel de energía total, sin embargo podemos destacar que en BK la categoría III y V son diferente significativamente ($p < 0.05$), además de ser la zona mayor ruido para todas las categorías (Fig. 20).

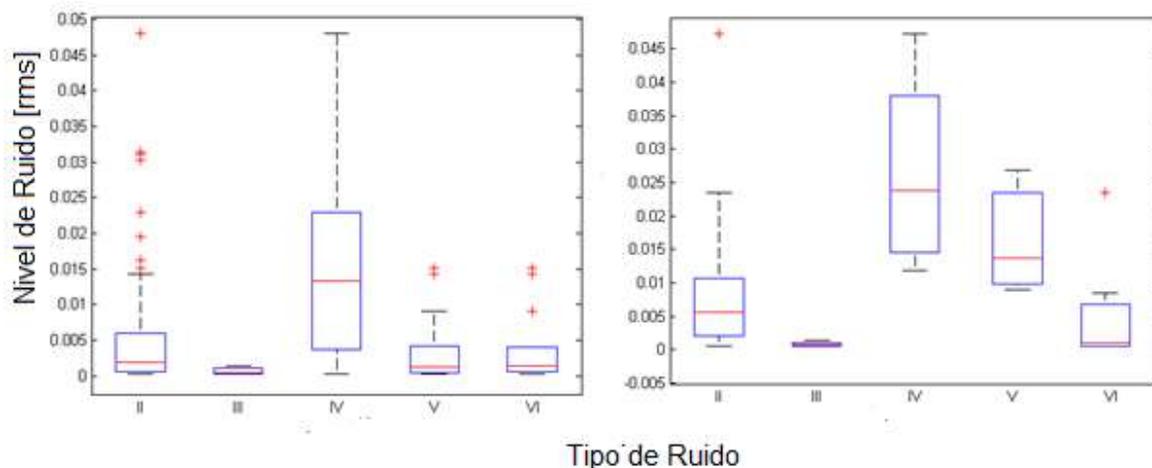


Figura 20. Niveles de ruido [rms] en los tipos de ruido encontrados en Bahía de los Ángeles y Bahía Kino. La cantidad de archivos analizados (n) no es homogénea. B. Ángeles II (n:50, x: 6.5 e-03), III (n:9, x:1 e-03), IV (n:17, x:15.7 e-03); V (n:15, x:4 e-03), VI (n:16, x: 3.8 exp-03); F:5.8, p:3e-4; B. Kino II (n:45, x: 7.8 e-03), III (n:7, x:9 e-04), IV (n:5, x:26.7e-03); V (n:6, x: 16.1 e-03); VI (n:7, x: 5.3 e-03) F:8.87, p:8.92e-06.

En PP, el sur (Fig. 21), el ruido predominante es tipo I y el tipo III pero de tipo constante. Existe solo una excepción del tipo II, a pesar de ser tan frecuente en el norte. Las pruebas estadísticas no arrojan ninguna diferencia significativa en los niveles de ruido para las categorías en el sur (Tukey, Scheffé y Bonferroni & Holm).

Se analizó si los niveles de ruido entre las categorías eran comparables, encontrándose que la II y IV, no presentaron diferencia significativa. Sin embargo, para la categoría V, ruido en las altas frecuencias, a pesar de que no existe diferencia significativa en la zona norte, si se encontró diferencia de los niveles encontrados en el sur, donde son menores así como el tipo de ruido III, el cual es menor en el sur (Tukey, F: 4.6317, $p < 0.05$ Tukey),. En la categoría VI (90-200 Hz) BA y PP no se encontró diferencia significativa, sin embargo BK resulto diferente a ambas, siendo los niveles de ruido superiores (Tukey, F: 15.5327, $p < 0.01$).

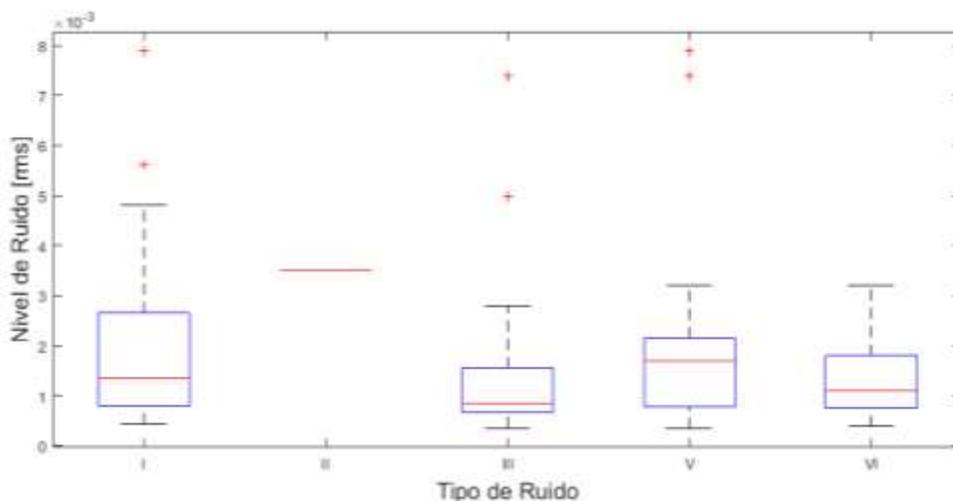


Figura 21. Niveles de ruido [rms] en los tipos de ruido encontrados en Punta Pescadero. La cantidad de archivos analizados (n) no es homogénea, el promedio es 'x' Tipos: I (n: 44, x: 2 e-03); II (n: 1, x: 3.5 e-03); III (n: 49, x: 1.3 e-03); V (n: 31, x: 1.9 e-03) y; VI (n: 37, x: 1.3 e-03). (La escala es diferente que la zona norte para poder distinguir los tipos de ruido en PP).

7.2.3 Caracterización en frecuencia

7.2.3.1 Análisis espectral en frecuencia por zona y por localidad

Las gráficas muestran la caracterización en frecuencia de 0-1000 *Hz* de manera más puntual. Las gráficas siguen el comportamiento esperado, donde el ruido se comporta de manera más homogénea entre mayor sea la frecuencia, mientras que presenta mayor variabilidad en las frecuencias inferiores a 200 *Hz*. Se puede apreciar que tanto los niveles como las frecuencias de mayor ruido son similares en el norte especialmente por debajo de los 200 *Hz* (Fig. 22). Sin embargo en frecuencias superiores a 200 *Hz* Bahía de los Ángeles tiene el menor nivel de ruido de toda la zona. Punta Pescadero se caracteriza por tener un nivel bajo de ruido en frecuencias inferiores a 100 *Hz*, sin embargo, presenta un aumento en un rango de frecuencias 110-450 *Hz*.

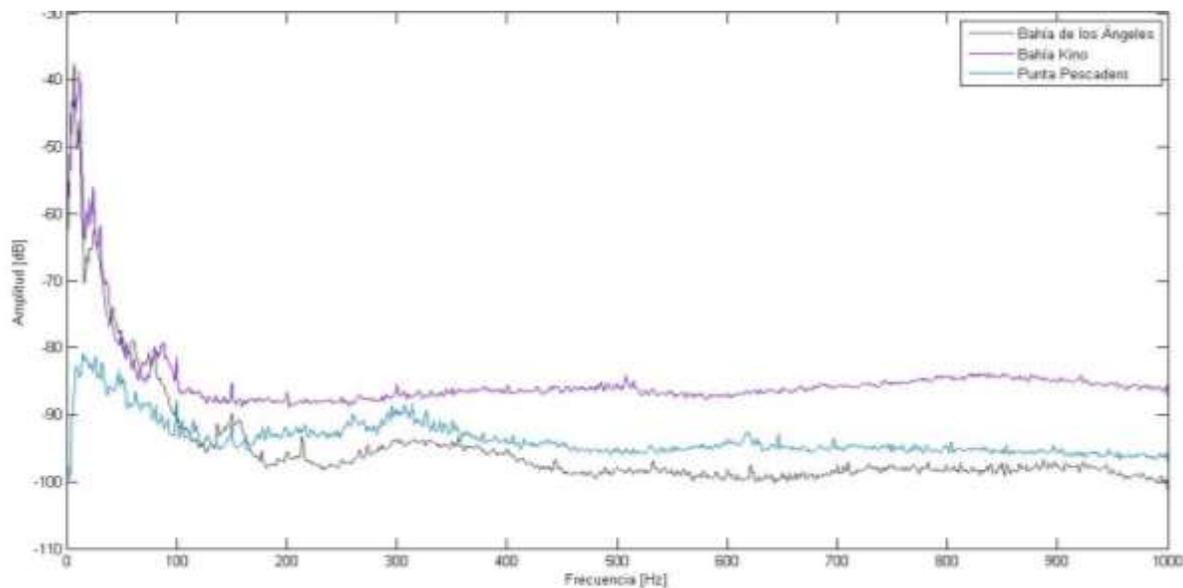


Figura 22. Caracterización espectral de la frecuencia por localidad. Sobrelape 50%, ventana *Blackman-Harris*, *nfft* 2000, 1 Hz de resolución.

7.2.3.2 Análisis espectral en frecuencia por tipo de ruido

La clasificación espectral nos permite enfocarnos con detalle en el rango de frecuencias que nos interesa comparar. Nuestros espectros comparan la intensidad de 0 – 1000 Hz cada 0.8 Hz (Fig. 23) por lo que nos permite conocer de manera puntual los cambios en intensidades a diferentes frecuencias. En la gráfica I, se analiza los niveles de ruido correspondientes al ruido clasificado como constante, encontrado principalmente en el sur del GC. Como se puede apreciar se caracteriza por tener niveles muy bajos en las frecuencias <20 Hz para posteriormente aumentar entre las frecuencias 20-110 Hz (sombreado en la Fig. 23).

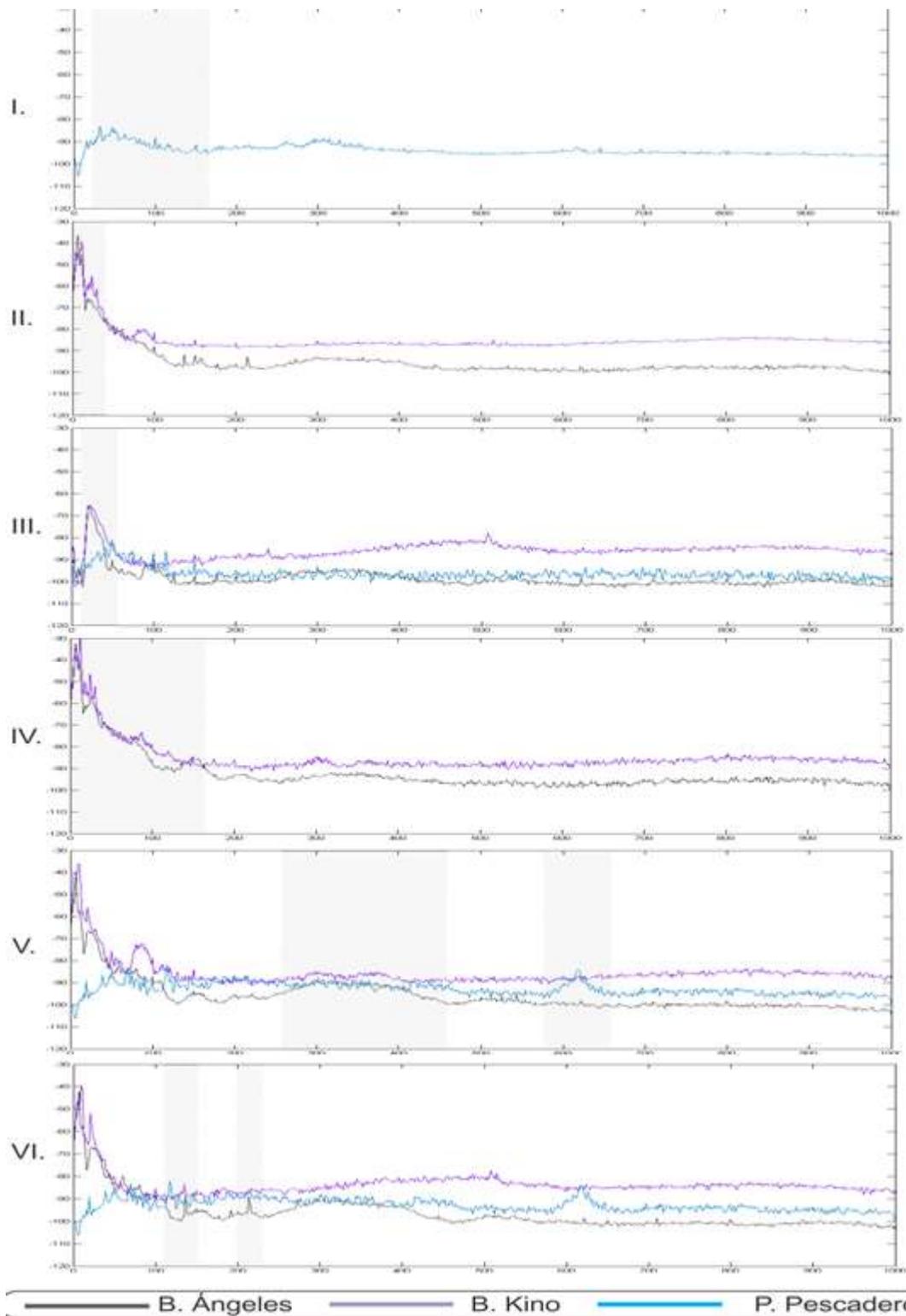


Figura 23. Espectros promedio por tipo de ruido. A partir de su clasificación en ambas zonas. Frecuencias: 0-1000 Hz. Sobrelape 50%, ventana *Blackman-Harris*, nfft 2000, 1 Hz de resolución.

El tipo de ruido II, presenta a diferencia del tipo de ruido I, un pico en las frecuencias $<25 \text{ Hz}$, que disminuye drásticamente hasta aproximadamente los 50 Hz . Este tipo de ruido aunque es característico del norte, se presenta también en el sur, pero no es recurrente. Para encontrar su recurrencia, se analizaron 400 archivos independientes al azar de 5 segundos, y se encontró que del 2006-2012 se presentaba en el 1.5% de los datos (6) y nunca con llamadas que presentaran más de dos componentes discretos, sino con vocalizaciones, consideradas como aquellas que sólo presentan el componente fundamental de la llamada (f_0 a 60 Hz).

En las categorías de tipo de ruido III se aprecia que el nivel de ruido en B. Kino es mayor pero no significativamente, los niveles son más bien semejantes, coincidiendo con el resto de las pruebas hasta ahora como nivel de ruido total [rms] para esta clase de ruidos, caracterizados por no tener ruido en frecuencias $>20 \text{ Hz}$ y posteriormente un pico de energía. La categoría IV tiene un espectro semejante al II, pero con una menor pendiente.

La categoría V y VI de ruido, son discrepantes respecto a los análisis de los niveles de ruido total [rms]. Esto quizás, porque aquellas frecuencias que se compararon no representan una diferencia significativa en energía con respecto a todo el rango de ruido considerado. En la categoría VI ($90\text{-}200 \text{ Hz}$), los niveles de ruido mostraban diferencia significativa entre las zonas norte y sur, efectuando la comparación de los niveles de energía por frecuencia podemos apreciar que el nivel de ruido de PP (sur) está más relacionado con el de BK (norte).

PP tiende a aumentar los niveles de ruido en frecuencias superiores ($550\text{-}650 \text{ Hz}$), lo cual no se aprecia debido a que la energía media está en las frecuencias bajas, esto lo hace imperceptible cuando se estudia el nivel total del ruido [rms]. Comportándose por lo tanto, para esta clasificación de ruido, más parecido a los niveles de energía de BK al norte.

7.2.4 Distribución de la energía por tercio de octava

7.2.4.1 Filtros de tercio de octava por zona y por localidad

En la figura 24 se aprecia cómo la distribución de energía está relacionada con el espectrograma, sin embargo los valores se aprecian en dB y de acuerdo a la f_c (frecuencia central) de los tercio de octava.

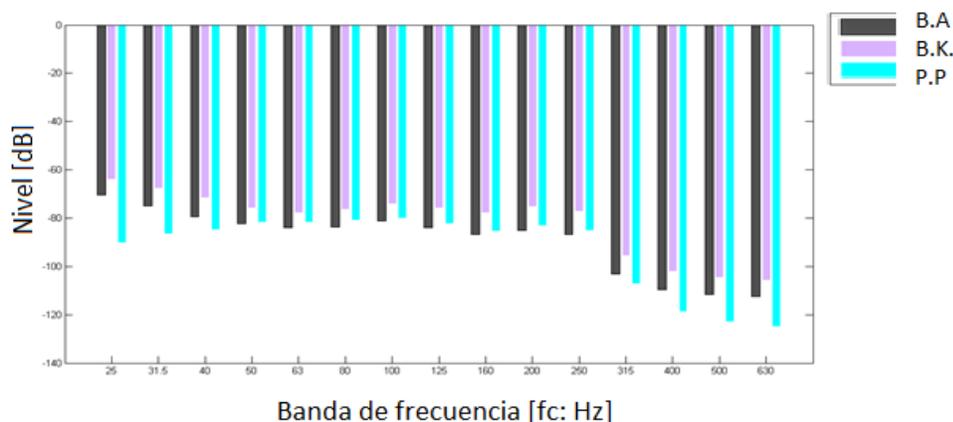


Figura 24. Filtros de un tercio de octava por sitio localidad. Calculado a partir del nivel de ruido [rms] para las tres localidades.

7.2.4.2 Filtros de tercio de octava por tipo de ruido

Debido a que los ruidos son diferentes y característicos de las localidades, no se encontraron todos los tipos de ruidos en todas las zonas. Seis clasificaciones se consideraron para este estudio, donde el tipo de ruido III, V y VI se encontró en todas las zonas. En general, BK tiene mayores niveles de energía en todas las categorías, mientras que PP muestra bajos niveles en las frecuencias bajas para posteriormente ganar energía en frecuencias >50 Hz (Fig, 25). BA tiene un comportamiento semejante a BK pero con menor nivel de energía. Las gráficas se generaron en Matlab® (con una ganancia en potencia de +90 dB), y posteriormente editadas en Corel Draw®.

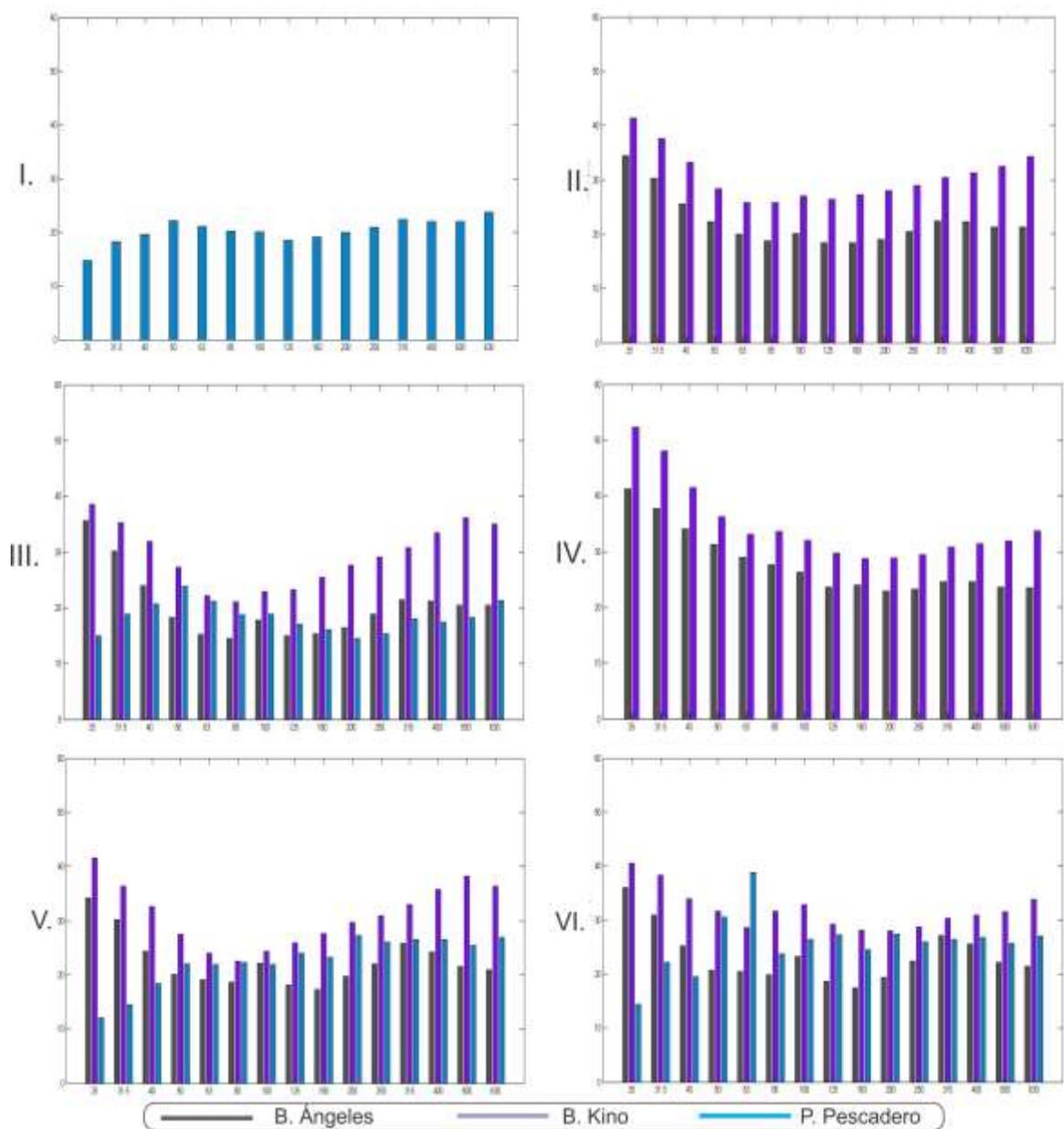


Figura 25. Filtros de un tercio de octava por tipos de ruido. I) Constante, II) ruido constante en una banda a bajas frecuencias, III) ruido intermitente y, IV) intermitente intenso de 0 -200 Hz V) ruido 90-200 Hz y, VI) ruido en frecuencias altas >250 Hz.

7.3 Llamadas

Una vez seleccionadas aquellas llamadas que tenían el componente principal (CP), el primer paso fue identificar las variables que nos permitieran estandarizar las características con que deberían contar las llamadas para poder compararlas entre sí.

La clasificación de la llamada Be4 con base a los componentes discretos se muestran en la figura 26. Encontramos 3 tipos de llamada Be4: a) Llamada con 6 componentes +CP, b) únicamente llamada con componente principal (CP) y c) llamada con componente a 30 Hz (puede tener 6 o 7 componentes +CP).

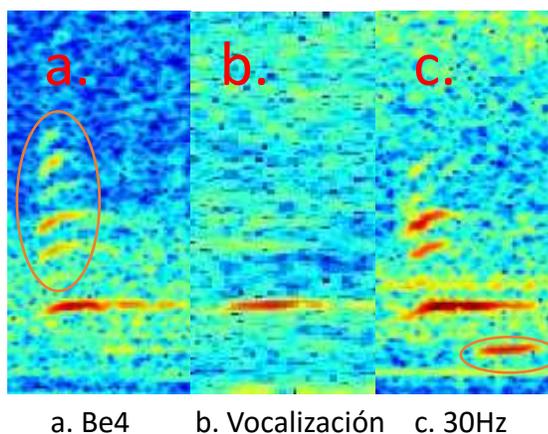


Figura 26. Clasificación de la llamada Be4 de acuerdo a sus componentes.

7.3.1 Caracterización de la llamada con base en sus componentes

Para saber cuáles componentes discretos se encontraban y cuáles de ellos podían ser enmascarados por el ruido, se realizó la siguiente clasificación: 1) presencia, 2) ausencia y, 3) posible enmascaramiento (Tabla II, Anexo III).

Encontramos un total de 7 componentes discretos en la llamada Be4, de los cuales los más representativos se mencionan a continuación.

Tabla II. Número de componentes discretos de la llamada Be4 encontrados por localidad. Se identificaron los componentes de la llamada Be4 mediante espectrogramas. P: presencia, A: ausencia, E: enmascaramiento. CP: Componente principal o frecuencia fundamental (f_0) que es igual al número de llamadas analizadas.

Componente (Hz)	B. Ángeles			B. Kino			P. Pescadero		
	P	A	E	P	A	E	P	A	E
CP 58.9 Hz	67			56			99		
c1-30.4 Hz	0	21	46	4	27	25	65	4	30
c2-72.8 Hz	26	7	34	31	3	22	30	5	64
c3-95.2 Hz	61	1	5	53	1	3	94	0	5
c4-112 Hz	66	0	1	55	0	1	99	0	0
c5-133.9 Hz	12	7	48	11	4	41	26	7	66
c6-150.4 Hz	47	2	18	47	1	8	65	7	27
c7-166.4 Hz	18	8	41	14	8	34	36	12	51

7.3.1.1 Componente 1- 30 Hz

Como se puede apreciar en la tabla, el componente a 30 Hz se encontró en el sur con gran recurrencia, ocupando el tercer puesto de los componentes discretos que identifican Be4 en PP Sin embargo, en el norte sólo estaba en B. Kino, y únicamente se pudo identificar en 4 llamadas (7 %), mientras que en BA no se pudo reconocer ninguna.

Para identificar si el c1- 30 Hz era un componente característico de las llamadas de la zona sur, se tomó un grupo aparte de llamadas, las cuales incluyeran todas las vocalizaciones presentes de los archivos, con el fin de determinar el porcentaje de llamadas en el que estaba presente este componente, llevándose a cabo la siguiente metodología:

- I) Identificar las llamadas Be4 por medio de espectrogramas y clasificar de acuerdo a presencia/ausencia del componente 30 Hz.

- II) Determinar las condiciones de ruido de su posible enmascaramiento
- III) Establecer la frecuencia en que se encuentran las llamadas con componente 30 Hz para tres archivos de diferentes temporadas en la región sur.

En la tabla se muestran los tres archivos analizados de los tres tipos de llamadas más comunes de Be4, un total de 237 llamadas. La ocurrencia del componente a 30 Hz, SNR >2 (proporción), se registró con certeza en la región sur, en 1 de cada 3 llamadas (ver tabla III). Después de revisar 324 llamadas aleatorias y de diferentes archivos en la región norte se corroboró su presencia únicamente en 4 llamadas (~1.5 %), las cuales estaban en una misma grabación y eran llamadas contiguas. El componente era más fácil identificar cuando no había ruido tipo II, ni ruido intenso del tipo III.

Tabla III. Ocurrencia del c1-30 Hz. Archivos analizados de la zona sur para determinar su ocurrencia con base a su presencia (P), no detección y posible enmascaramiento (E).

Archivo	# Llamadas	E	P (%)
GofCA_06_stGC_0700505_045819.x	29	15	19 (30%)
GofCA_06_stGC_070209_095934.x	43	38	33 (28%)
GofCA_06_stGC_070401_071049.x	12	24	24 (40%)

Dado que el c1-30 Hz es representativo en el sur del GC, se consideró como característico de la región. Sin embargo, se excluyó como característica esencial para la selección de las llamadas.

7.3.1.2 Componente 3 - 95 Hz y Componente 4 - 112 Hz

De acuerdo a la ocurrencia de los componentes discretos, independientemente de la zona, el c3-95 Hz está presente en un 95% de las llamadas y, el c4-112 Hz en un 99%, por lo que se determinaron a estos dos componentes como básicos para la

descripción y comparación de la llamada Be4. En los casos en los que no se encontraron estos componentes presentes, se apreció que existía una banda de ruido que los enmascaraba. Existieron 5 llamadas con SNR donde no estaba el c3-94 Hz, y una sola llamada donde no estaba el c4-112 Hz. Estas llamadas fueron mucho más comunes en BA.

7.3.1.3 Otras llamadas

Se encontraron variantes de lo que podría ser la llamada Be4. La primera de estas llamadas parecía ser dos llamadas continuas (Fig. 27), pero de duración, intensidad y componentes variables. Para saber si era una característica de la llamada, se graficaron en el tiempo, para poder identificar si se emitía doble vocalización, el promedio de su duración y, determinar así si eran diferentes. En el espectrograma se encontró que las vocalizaciones Be4 “clásicas” al ser graficadas en el tiempo, tenían una única amplitud en señal (Fig. 27 A). Las llamada con dos componentes en CP continuos, concordaban con amplitudes dobles en el tiempo, como se puede apreciar (Fig. 27 B) el componente principal de la llamada está dividido en dos componentes cercanos. Era común que se notara una prolongación del CP, consiguiendo así prolongar la duración, esto únicamente en PP. No obstante, aunque existe una división cercano, la intensidad (amplitud) de la prolongación del CP no se nota en la gráfica del tiempo.

Como no sé puede determinar con precisión si son dos llamadas distintas o una variación de la llamada Be4, sólo se consideró para este estudio aquellas llamadas espectrográficamente correspondiente a la tipología A.

Además de las ya mencionadas variedades de Be4, se encontraron llamadas que presentaban componentes “raros”, y estos se presentaron en todas las zonas, en diferentes tiempos, destacan el componente a 40 Hz, así como componentes con frecuencias > 165 Hz (ver Anexo II).

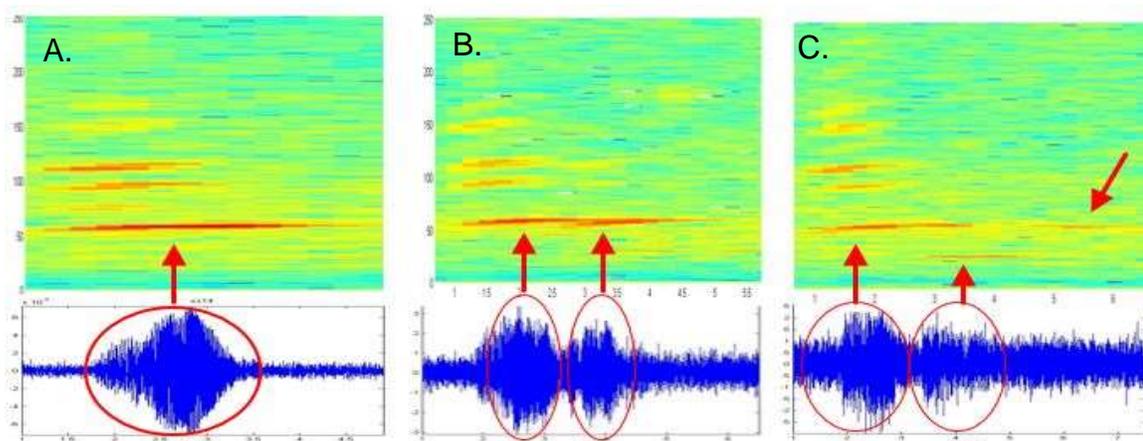


Figura 27. Espectrogramas de la tipología de Be4. A) Llamada con un único f_0 , B) Doble componente f_0 , C) Llamada con cola espectral en f_0 .

7.3.2. Caracterización de los componentes en frecuencia

El análisis de la frecuencia de los componentes se hizo en tres etapas. Primero se caracterizaron en general, sin considerar su origen, para poder calcular los promedios totales. Posteriormente se hizo una discriminación por zona (norte y sur), y por último por localidad.

7.3.2.1 Determinación de las frecuencias de los componentes de Be4

El promedio de los componentes se realizó a partir de todas las llamadas analizadas en este estudio, obteniéndose las siguientes frecuencias: c1-30.4 Hz (sd: 0.42, n: 65), CP-58.9 Hz (sd 0.052, n: 225), c2-72.8 Hz (sd: 1.27, n:91), c3-95.2 Hz (sd: 1.4, n:210), c4-112.02 Hz (sd: 1.41, n:220), c5-133.9 Hz (sd:1.59, n: 48), c6-150.4 Hz (sd:1.7, n:161) y c7-166.4 Hz (sd:2, n: 69).

Se puede apreciar que en “el rango de amplitud de frecuencias” (cuartiles Q1 a Q3) se sigue la regla de que “a mayor frecuencia, mayor es la variación”, a excepción del componente principal, que es el más estable en frecuencia (Fig. 28).

Además, observamos que los componentes de menor energía, que son los menos recurrentes, tienen una mayor desviación estándar (c2-73 Hz, c5-134 Hz y c7-166 Hz).

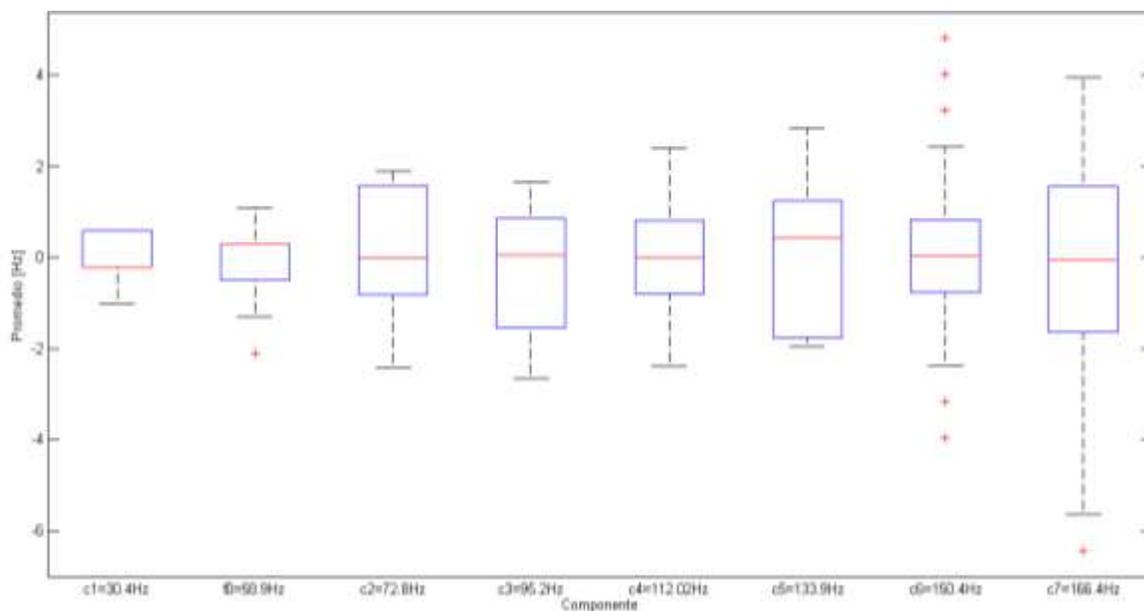


Figura 28. Frecuencia de los componentes de Be4. En el eje de las abscisas, se muestra la diferencia en frecuencia de la mediana del componente (cero), su promedio está señalado en el eje de las ordenadas

7.3.2.2 Caracterización de la frecuencia de los componentes por zona

La tabla IV muestra los resultados de los análisis estadísticos (*t-student*). Los cuales indican que las frecuencias de la zona norte son diferentes a la zona sur para los c3-95 Hz, c5-134 Hz y c7-166 Hz.

Nótese que las frecuencias de los componentes, generalmente son mayores en el sur (Fig. 29). Además, el c5-134 Hz además de tener variación significativa, también se destaca por su alta desviación estándar diferente a del norte (Tabla IV).

El c1-30 Hz se consideró hasta los análisis de la frecuencia por localidad.

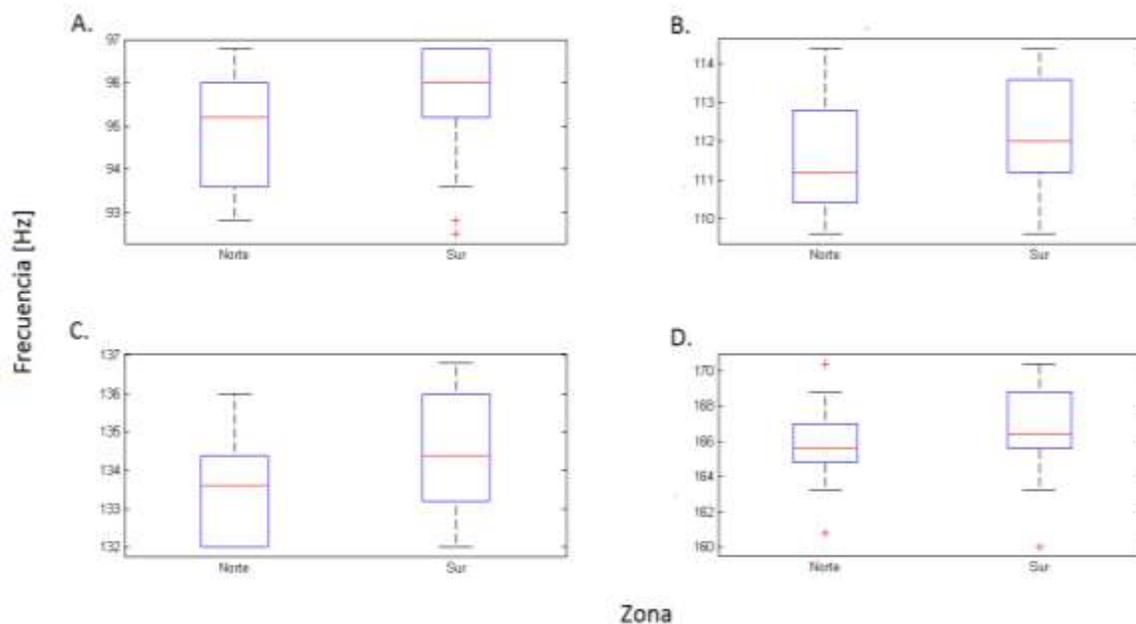


Figura 29. Frecuencias de los componentes con diferencia estadística, por zona. A) c3-94 Hz (promedio: 95.2 Hz, n: 94.8, s: 95.5), B) c4-112 Hz (promedio: n: 111.7, s: 112.38, C) c5-134 Hz (promedio: 134.9 Hz, n: 133.5, s: 134.5), D) c7-164 Hz (promedio: 166.4, n: 165.8, s: 167).

Tabla IV. Frecuencia de los componentes por zona. (Mean: promedio, sd: desviación estándar, sem: error estándar del promedio, n: número de datos, IC: intervalo de confianza, df: grados de libertad, error std: error estándar).

Componente	Datos	N	S	P-value	Ic 95%	T	df	Diferencia
CP	mean	58.73	58.789	0.8411	(-0.64 a -0.521)	0.2	209	NO
	sd	0.5777	3.172					
	sem	0.052	0.334					
	N	121	90					
c2-72.8	mean	72.791	73.03	0.1911	(-0.795 a -3.912)	1.32	78	NO
	sd	1.327	1.31					
	sem	0.179	0.25					
	N	55	25					
c3-95.2	mean	94.842	95.55	0.0003	(-1.084 a -0.332)	3.72	197	SI
	sd	1.353	1.304					
	sem	0.127	0.141					
	N	113	86					
c4-112.02	mean	111.702	112.38	0.000166	(-0.000166 a -0.000332)	3.65	208	SI
	sd	1.30751	1.3654					
	sem	0.11936	0.14393					
	N	120	90					
c5-133.9	mean	133.496	134.48	0.0367	(-1.905 a -0.064)	2.15	41	SI
	sd	1.306	1.68					
	sem	0.272	0.376					
	N	23	20					
c6-150.4	mean	150.2	150.597	0.1817	(-0.981 a -0.188)	1.34	142	NO
	sd	1.817	1.617					
	sem	0.196	0.212					
	N	86	58					
c7-166.4	mean	165.833	167.035	0.03999	(-2.347 a -0.057)	2.10	59	SI
	sd	1.957	2.473					
	sem	0.357	0.444					
	N	30	31					

7.3.2.3 Caracterización de la frecuencia de los componentes por localidad

La grafica de la frecuencia los componentes, por localidad, se muestra en la figura 30, donde el eje de las ordenadas representa el promedio, y el diagrama de caja muestra el desplazamiento en frecuencia sobre la media del componente. Destacamos que estas comparaciones no son válidas para el c1-30 *Hz*, por falta de datos para la zona norte.

A pesar de que las diferencias en frecuencia parecían agruparse por zona (Fig. 31), notamos cambios que estaban más relacionados con la diferenciación local de los componentes. Por lo tanto, se realizaron análisis estadísticos (ANOVA), para ver cuales cambios presentaban significancia, encontrando que el c7-164 *Hz* tanto de BK, como de PP aumenta su frecuencia, mientras que los de BA disminuyen. La mayor discrepancia en los datos está en el c5-134 *Hz*, a diferencia de lo que mostraban las frecuencias por zona, al analizarlo por localidad este componente no tiene diferencia estadística significativa. Así mismo nuestros datos señalan que a pesar de que no hay diferencias en las frecuencia del CP ni por zona, ni por localidad, si se aprecia que el CP de PP presenta más variación que la encontrada en el norte (3.13 *Hz* vs 0.54-0.56 *Hz*). Tanto el c3-94 *Hz*, como el c4-112 *Hz* coincidieron en los análisis locales y por zona.

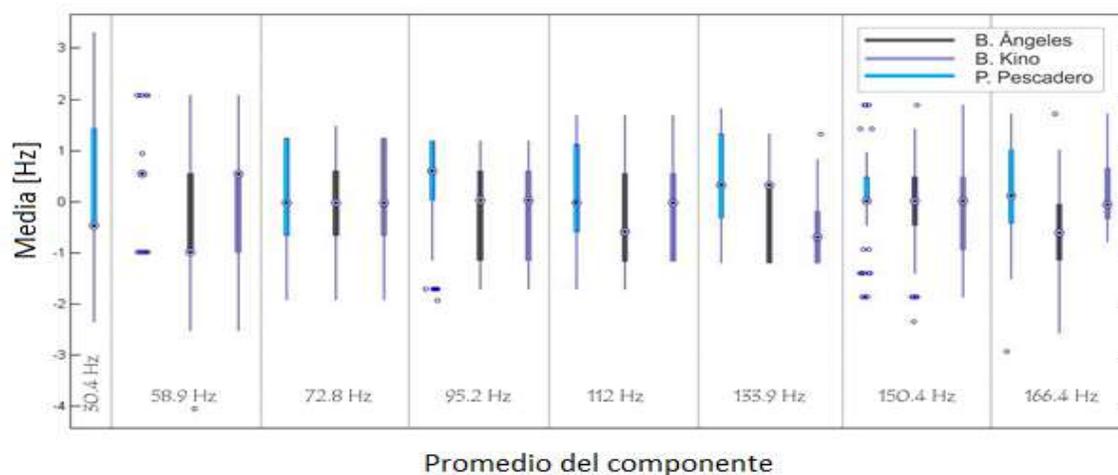


Figura 30. Frecuencia de los componentes de Be4 por localidad. En el eje de las abscisas, se muestra la diferencia en frecuencia del promedio del componente (cero), el promedio está señalado en el eje de las ordenadas.

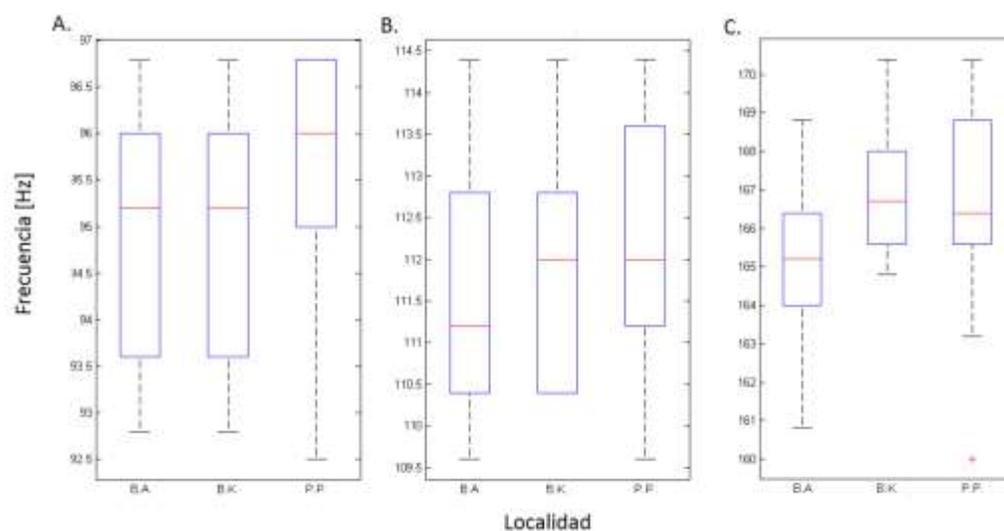


Figura 31. Frecuencias de los componentes por localidad con diferencia estadística. A) c3- 95 Hz (nba: 63, nbk:50, npp:86. Anova: F estadística: 6.9021, p: 3.1e-03); B) c4-112 Hz (nba: 67 nbk: 53 npp:94. Anova: F estadística: 7.733 p: 5.7 e-04; C) c7-166.4 Hz (nba: 17, nbk: 13, npp:61. Anova: F estadística: 5.0592, p: 9.4 e-03, la prueba de Tukey & Scheffé no encuentran diferencia en el norte, sin embargo las pruebas de Benferroni & Holm indican que B. de los Ángeles es diferente a BK ($p < 0.05$), y de PP ($p < 0.01$)).

7.3.3 Variación de la longitud del componente principal

Se midió la longitud del componente principal, diferenciando las llamadas del norte y del sur en una primera etapa. Las mediciones de la longitud a diferentes gradientes de corte -29 dB, -24 dB y -19 dB sugieren que las diferencias pueden estar asociadas a la zona del GC donde *B. edeni* vocalizo. Puesto que no se encontró diferencia en la longitud entre BK y BA (Fig. 32). Sin embargo, el CP del en el sur presenta una longitud mayor en comparación a las localidades del norte.

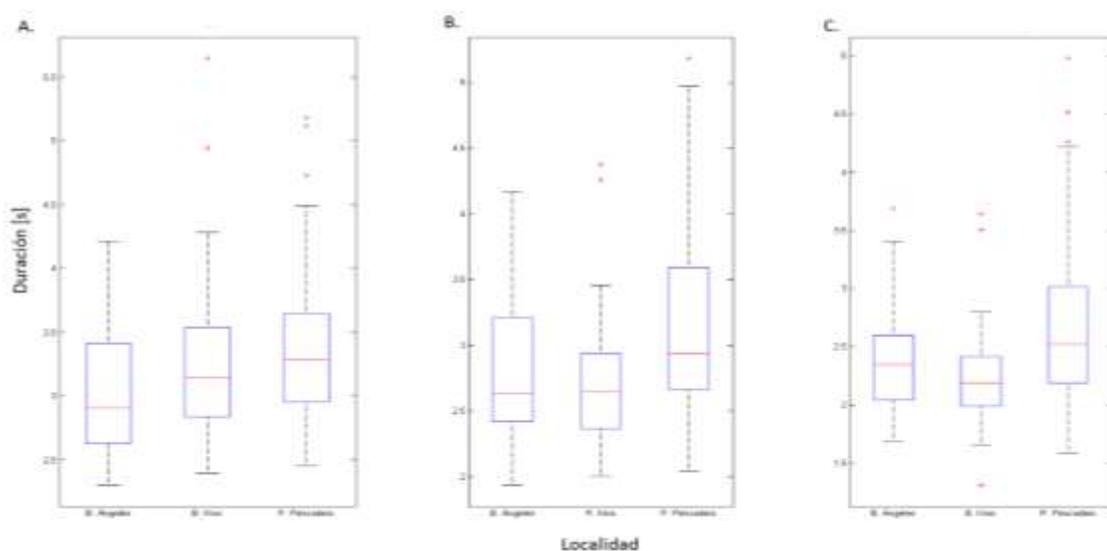


Figura 32. Longitud del componente principal de Be4 a tres gradientes de corte, por localidad. (-29 dB, -24 dB y -19 dB). A) -29 dB del CP (ANOVA: F: 13.69 p: 4.49e-6; Tukey: BA vs BK: Q:0.0814 p:0.8142, B.A vs PP: Q:6.3 p:0.001; BK vs PP: Q:5.969 p:0.001). B) -24 dB del CP (ANOVA: F: 19 p:3.4e-8; Tukey: BA vs B.K: Q:1.946 p:0.356, B.A vs PP: Q:6.173 p:0.001; BK vs PP: Q:8.159 p:0.001). C) -19 dB del CP (ANOVA: F: 19.323 p:2.3 e-8; Tukey: BA vs B.K: Q:1.92 p:0.365, BA vs PP: Q:6.533 p:0.001; BK vs PP: Q:8.1518 p:0.001).

Tanto las longitudes de los cortes a -29 dB, como -24 dB fueron diferentes en ambas zonas, no obstante la longitud de la llamada a -19 dB no mostro diferencia estadística ni entre zonas, ni entre localidades. Un mayor nivel de corte que el propuesto (> -29 dB) complica la identificación del CP, porque a ese nivel de corte en el norte el ruido lo sobrepasa y no se puede saber su longitud. Sin embargo, por

otra parte, si propusiéramos homogenizar las llamadas a -19 dB del CP para medir sus características, perderíamos la mayoría de los componentes discretos, desaparecerían, puesto que la diferencia de energía que hay entre el CP y ellos es generalmente mayor a 19 dB (Fig. 32).

7.3.4 Gradiente de energía de los componentes

7.3.4.1 Pico de energía del CP

Al obtener las medias de los picos de energía del CP de las tres diferentes localidades, podemos apreciar que son diferentes entre ellos, tanto por zona como por localidad, siendo el de mayor energía el de BK, seguido de PP con energía más variable y por último BA (Fig 33).

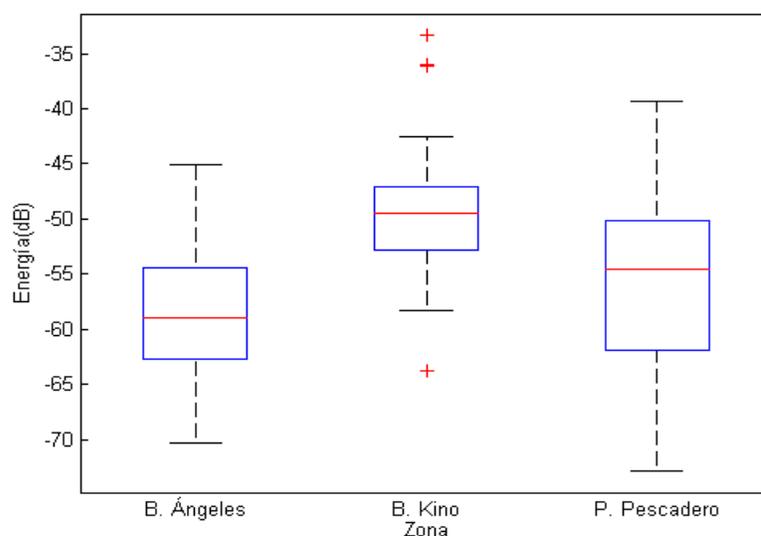


Figura 33. Grafica del gradiente de energía del CP de las localidades.

7.3.4.2 Gradiente relativo respecto al CP

Se encontró que la energía no se distribuye igual entre los componentes discretos y estas diferencias no están del todo relacionadas entre las zonas (Tabla V). Por ejemplo, el componente con mayor diferencia de energía respecto a CP y por lo

tanto con un menor pico de energía, es el componente c5-134 Hz en PP y en BA, y en BK antes que este, están los componentes: c6-150 Hz y c7-166 Hz (*sd*: 5).

Por otro lado, si hiciéramos un corte a -24 dB del CP, los únicos componentes que veríamos serían el c1-30 Hz, el c4-95 Hz y el c5-112 Hz, porque son los de mayor energía; si estuviéramos en PP además también probablemente el c1-30 Hz. En la figura 34, se puede apreciar ordenados de mayor a menor (izquierda a derecha) los componentes más lejanos (de menor energía) del CP. Los datos están ordenados por localidad. El componente que más variación presentó fue el c6-150 Hz en BK.

Tabla V. Componentes discretos ordenados por gradiente. La energía se presenta como la diferencia en dB (*dB gradiente relativo: dB componente – dB CP*)

C	B. A.	c5-134 Hz	c7-166 Hz	c6-150 Hz	c2-73 Hz	c3-95 Hz	c4-112 Hz	
No.		12	18	47	25	63	67	
dB		-33	-30	-27	-25	-21	-19	
C	BK	c7-166 Hz	c6-150 Hz	c5-134 Hz	c2-73 Hz	c3-95 Hz	c4-112 Hz	c1-30 Hz
No.		13	42	11	27	51	53	2
dB		-33	-33	-29	-24	-19	-17	-15
C	P.P.	c5-134 Hz	c6-150 Hz	c7-166 Hz	c2-73 Hz	c3-95 Hz	c4-112 Hz	c1-30 Hz
No.		21	59	31	28	86	89	61
dB		-35	-28	-28	-28	-19	-17	-15

Aunque encontramos diferente representación de los componentes por zona y por localidad, los análisis estadísticos indican que el único componente discreto que tuvo variaciones significativas fue el c2-73 Hz. Una diferencia notoria es que en PP tiene menos energía que las localidades al norte (Fig. 35).

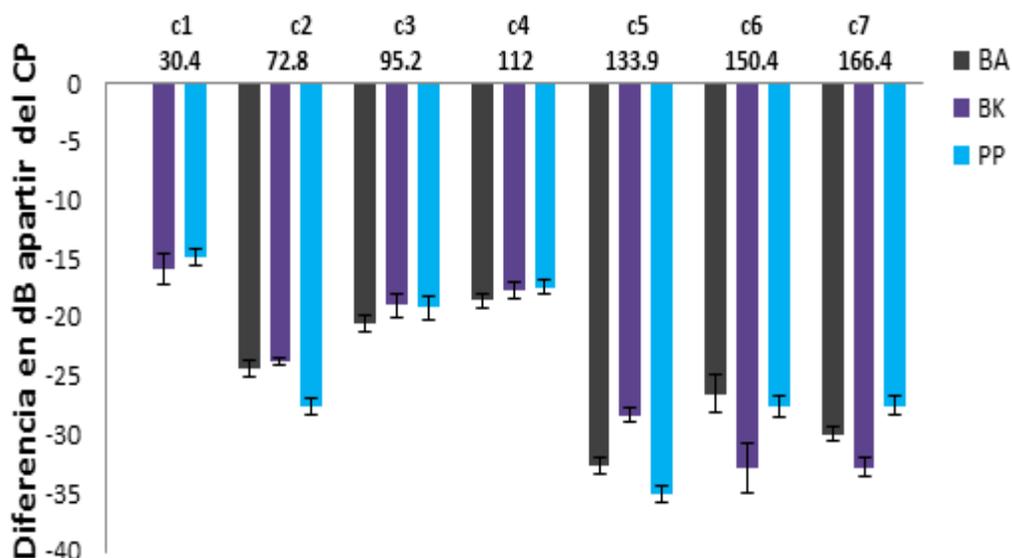


Figura 34. Gradiente relativo de los componentes de Be4: diferencia en *dB* de los componentes al CP. Los valores en *dB* se pueden apreciar en la Tabla XIII. Las líneas indican la desviación estándar de los datos.

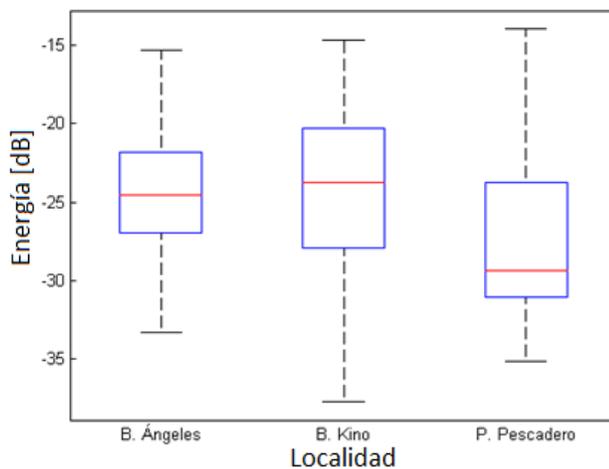


Figura 35. Gradientes de energía del c2-73 Hz. (BA: promedio -24.44 Hz, n: 25; BK promedio -23.78, n: 27; PP: promedio -27.68 Hz, n: 28. Anova: F: 5.12 p: 8.2 e-03 Tukey: BA vs BK Q: 0.69 p: 0.863, B.A vs PP: Q: 3.444 p: 0.044; BK vs PP: Q: 4.23 p: 0.0103.

7.3.5 Filtros de octava de la llamada

7.3.5.1 Distribución de los componentes de Be4 en filtros de octava

Se analizó la distribución de los componentes de la llamada Be4 mediante los filtros de octava, para poder cuantificar la energía en términos auditivos. Como se muestra en la figura 36, los componentes de la llamada tienen una distribución disímil en los tercio de octava. Se distribuyen en un total de 9-10 filtros de un tercio de octava, un total de 4 octavas.

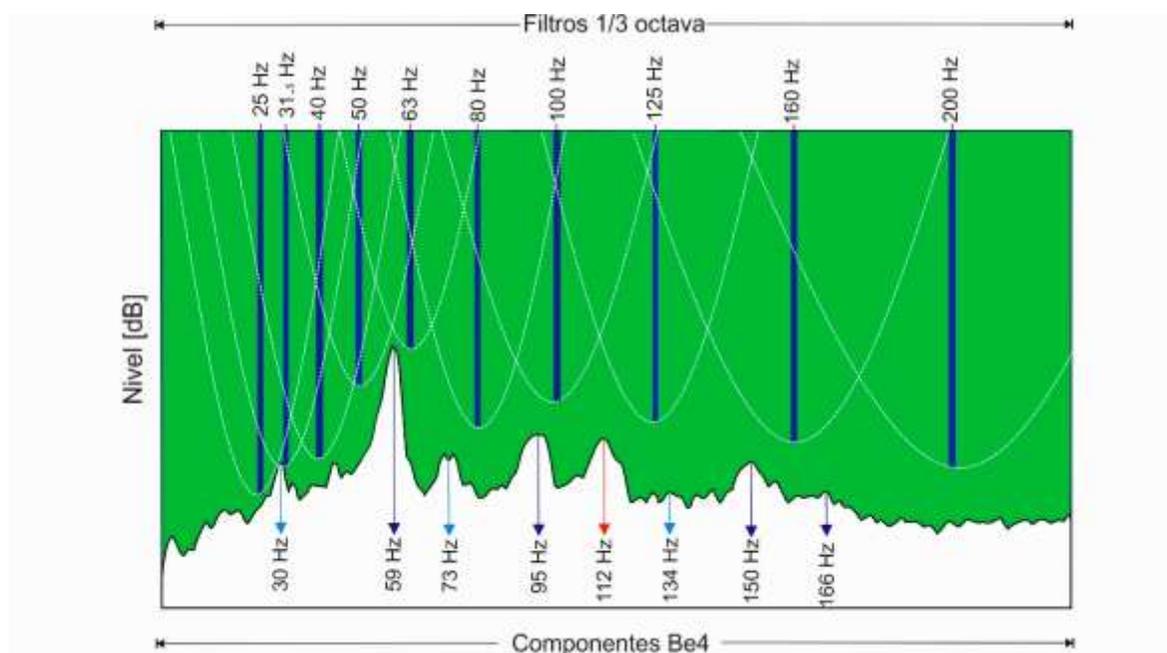


Figura 36. Distribución de la energía de los componentes discretos en los filtros de un tercio de octava.

Existen componentes que abarcan solo una octava como el c5-134 Hz y el c6-150 Hz, componentes que abarcan dos tercio de octava, por ejemplo el CP (59 Hz), c2-73 Hz y c4-112 Hz, y el c1-30 Hz que puede excitar a tres tercio de octava. Sin embargo existen otros componentes, que excitan a dos tercio de octava y también a dos octavas diferentes como el c3-95 Hz y el c7-166 Hz (ver tabla VI).

Tabla VI. Filtros de un tercio de banda excitados por cada componente de Be4. La línea punteada representa una octava, y los sombreados grises el filtro de un tercio de octava que está excitando determinado componente de la llamada.

Filtro	Componente							
25.0	30							
31.5								
40.0								
50.0		59						
63.0			73					
80.0				95				
100.0				95	112			
125.0					112	134		
160.0							150	166
250.0								166

7.3.5.2 Energía de los filtros de octava por localidad

La duración promedio sobre la que fue integrada la energía de la llamada por localidad se muestra en la tabla VII. Se destacan aquellos que tienen una variación significativa. Por ejemplo el CP varía en duración, lo cual ya estaba previamente reportado. La duración del c2-73 Hz en BK y en el cual tanto su error como desviación estándar es bajo. Así como se muestra variación del c5-134 Hz en BA.

La energía promedio se graficó por localidad (Fig. 37). Esta imagen es aproximada, pues su valor representa el máximo de energía cuando dos componentes estaban interviniendo en la integración de energía en un solo filtro de octava. Una vez obtenida la energía podemos apreciar que en PP los filtros involucrados para el c1-30 Hz presentan menor energía que el resto de las localidades. La energía de sus filtros presenta un cambio a partir del filtro 63 Hz, donde la energía de sus componentes sube. BA tiene energía en los filtros bajos, producto del ruido ambiental alto de la zona, después del CP, se caracteriza por ser la localidad con menos energía en la llamada. Por último, BK registra para todos los filtros de octava una mayor energía, lo que en realidad es una consecuencia de su ruido ambiental.

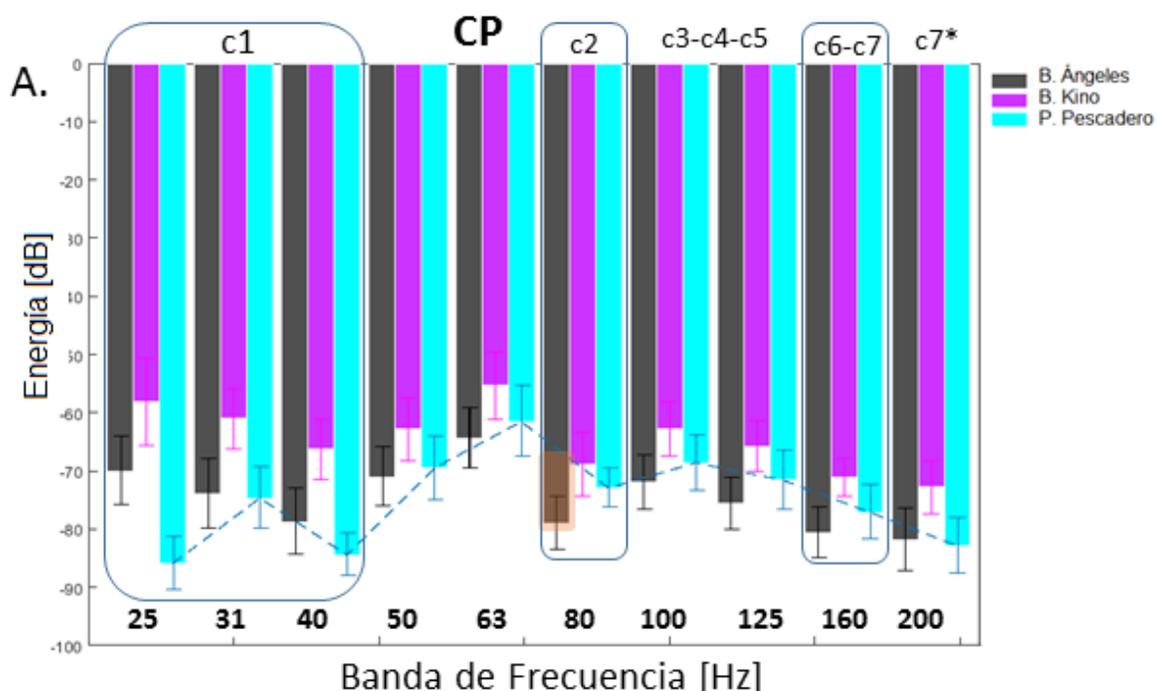


Figura 37. Energía promedio total por banda de frecuencia de la llamada Be4 para cada localidad. El c1-30 Hz, excita tres filtros, el c2-73 Hz excita principalmente al filtro 80 Hz, el c3-94 Hz, c4-112 Hz y c5-134 Hz excitan de manera disímil al filtro 125. El componente c6-150 Hz excita al filtro 160 Hz, y por último el c7-166 Hz excita tanto al componente 160 como al 200 Hz. La línea de tendencia esta dibujada para PP.

Tabla VII. Duración promedio [s] de los componentes de Be4.

		c1-30 Hz	CP	c2-73 Hz	c3-94 Hz	c4-112 Hz	c5-134 Hz	c6-150 Hz	c7-164 Hz
Promedio	BA	NaN	2.29	0.71	0.81	0.94	0.68	0.78	0.56
	BK	1.638	2.34	1.04	1.00	1.12	0.51	0.67	0.47
	PP	1.753	2.69	0.75	0.93	1.09	0.52	0.72	0.56
Sd	BA	NaN	0.51	0.22	0.20	0.24	0.21	0.27	0.11
	BK	0.328	0.47	0.26	0.26	0.29	0.14	0.17	0.10
	PP	0.466	0.67	0.25	0.27	0.33	0.15	0.17	0.21
Error	BA	NaN	0.06	0.04	0.03	0.03	0.06	0.04	0.03
	BK	0.164	0.06	0.04	0.03	0.04	0.04	0.02	0.02
	PP	0.053	0.07	0.04	0.03	0.03	0.03	0.02	0.03
Número	BA	NaN	68	30	61	66	14	48	20
	BK	4	56	38	55	56	12	48	20
	PP	76	97	30	91	95	30	69	50

Se puede apreciar la misma tendencia en la energía para todas las localidades y componentes. Sin embargo, dentro de las diferencias podemos mencionar la desviación estándar que presento BK para el c3-73 Hz, la cual fue mayor y que coincide con la duración de este componente en esta localidad. Otro componente donde coinciden estos dos datos es el CP para PP, lo cual era ya esperado, además de concordar con nuestros datos anteriores. BA se caracteriza por la baja energía en los componentes superiores.

Las diferencias entre el CP y cada uno de los componentes graficados en la figura 37 se detallan en la tabla VIII. Como se puede apreciar la energía respecto al CP que manda al filtro de banda 100 Hz es muy constante, lo cual llama la atención pues en este filtro se encuentran 3 componentes diferentes. La mayor variación de energía corresponde al filtro de banda de 80 Hz, donde se encuentra centrado el c3-73 Hz. También podemos observar que BK inyecta energía comparable con PP en el c6-150 Hz. podemos observar que BK inyecta energía comparable con PP en el c6-150 Hz.

Tabla VIII. Diferencia de energía [dB] en los filtros de banda de un tercio de octava con respecto al CP.

Hz	25 Hz	31 Hz	40 Hz	50 Hz	80 Hz	100 Hz	125 Hz	160 Hz	200 Hz
BA	NaN	NaN	NaN	NaN	-14.5	-7.5	-11.2	-16.2	-17.4
BK	-2.8	-5.6	-10.9	-7.5	-13.5	-7.4	-10.4	-14.5	-17.4
PP	-24.4	-13.1	-22.9	-8.0	-11.4	-7.1	-10.0	-14.8	-21.3

7.4 Comparación y correlación de ruido y la llamada Be4

Para encontrar si existe *Efecto Lombard* se compararon los resultados de los dos puntos anteriores (ruido y llamada) y se harán las pruebas estadísticas pertinentes, de acuerdo a las categorías encontradas, como se describe a continuación.

7.4.1 Relación señal ruido (SNR)

Los resultados de la ANOVA muestra diferencia significativa entre las proporciones de señal-ruido el sur y el norte, (f : 24.4598 y p -value 35293 e-10) y la prueba de Tukey para determinar diferencia entre las localidades, señala PP es diferente a las localidades norteñas (BA vs PP con Q : 8.7939 y BK vs PP con 7.1416 con $p < 0.01$).

Por lo tanto, las llamadas con mayor proporción de llamada vs ruido son las correspondientes a PP (ver figura 38). Mientras que B. Ángeles y B. Kino tienen proporciones semejantes, pero diferentes a PP.

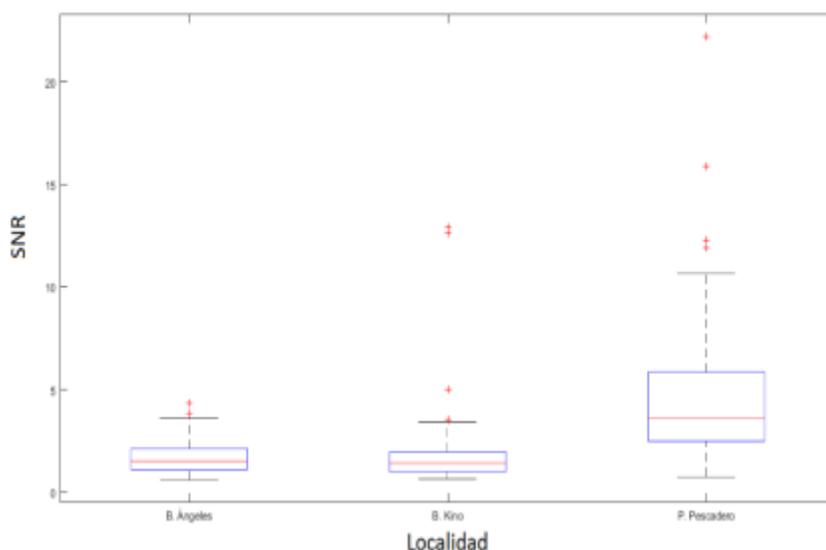


Figura 38. Relación entre la señal y el ruido por localidad. La energía del ruido se calculó a partir de 5 [s] previos a la llamada.

Sin embargo, dado las bajas proporciones que presento el norte, encontramos llamadas, que a pesar de presentar los dos componentes discretos adicionales al componente principal, presentan una proporción de energía menor en la llamada respecto al ruido, ver tabla IX. Se decidió, entonces comparar la energía de estas llamadas únicamente en el tercio de octava donde se centra el componente principal (a 63 Hz). Se puede apreciar que todas las llamadas tienen mayor energía en el filtro, y que está asociado con el tipo de ruido intenso de frecuencia baja en la

llamada.

Cuando analizamos el SNR del componente principal por tipo de ruido observamos que todas las llamadas con el tipo de ruido II (el 83%) tienen al menos un 20% más de energía que la del ruido, la cual es suficiente para que se puedan los cambios en los componentes. Esto representaría aproximadamente una subestimación del 39% de la proporción de su energía. Además, la única llamada con el tipo de ruido II de PP, tuvo también una SNR <1.

7.4.2 Clasificación del ruido en niveles

Se realizó grupos de tres niveles de ruido por localidad con base en nivel de energía en dB >250 Hz, estas energías se agruparon en cuartiles y se crearon tres grupos; nivel bajo, nivel medio y nivel alto. Se muestra en la figura 39 un mapa de calor del ruido en las tres localidades (Fig. 39). Los niveles de ruido son menores en PP, donde aún su nivel ruido mayor corresponde con un nivel medio para el norte. También se aprecia que las llamadas con mayor nivel de ruido son las de tipo IV, las cuales son principalmente representados por la localidad de BK, y que a su vez presenta mayores niveles de ruido.

Tabla IX. Niveles de ruido [rms] en Be4.

	Bajo		Medio		Alto	
	Inicial	Final	Inicial	Final	Inicial	Final
BA	2.20 e-04	5.72 e -04	6.98 e-04	61 e-04	89 e-04	480 e-04
BK	5.92 e-04	27 e-04	32 e-04	98 e-04	105 e-04	472 e-04
PP	0.884 e-04	1.96 e-04	2.02 e-04	3.99 e-04	4.13 e-04	19 e-04

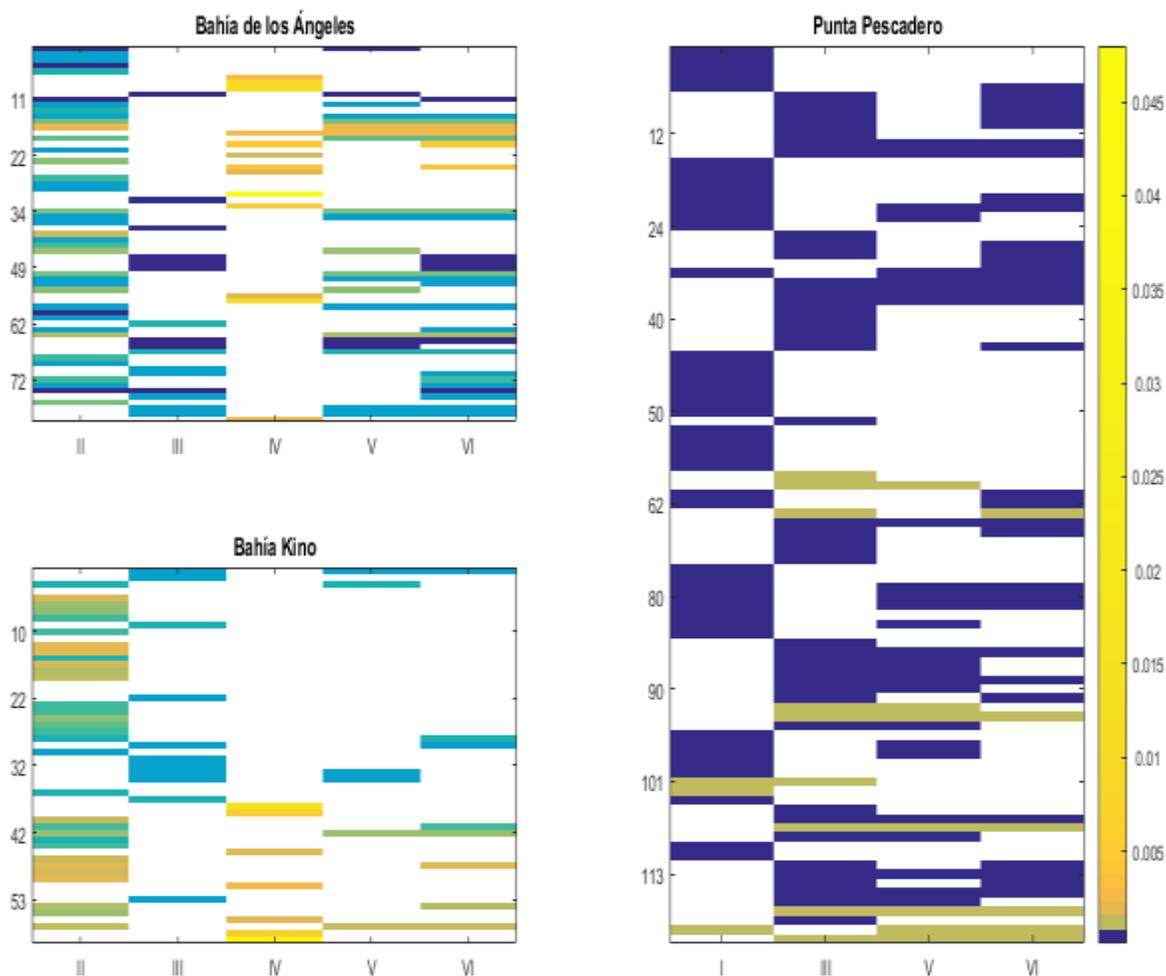


Figura 39. Mapas de calor obtenidos del nivel de energía [rms] según el nivel del ruido por localidad. En el eje de las abscisas se encuentra el tipo de llamada y en el de las ordenadas las llamadas en orden descendiente. La grafica fue elaborada usando un mapa de colores logarítmico con valor mínimo es 8.842×10^{-5} y máximo 0.0479 en Matlab® 2016.

La clasificación de los niveles de ruido fue de acuerdo a la energía [rms], encontrada en cada localidad, los rangos se muestran en la tabla X. Esta clasificación se extrapolo a las categorías de ruido.

Se representó esta diferencia de acuerdo al tipo de ruido en cada localidad, como se aprecia en la figura 40, no son comprobables los niveles de ruido entre el norte y el sur. Todas las llamadas del sur entrarían en la clasificación de nivel bajo del norte.

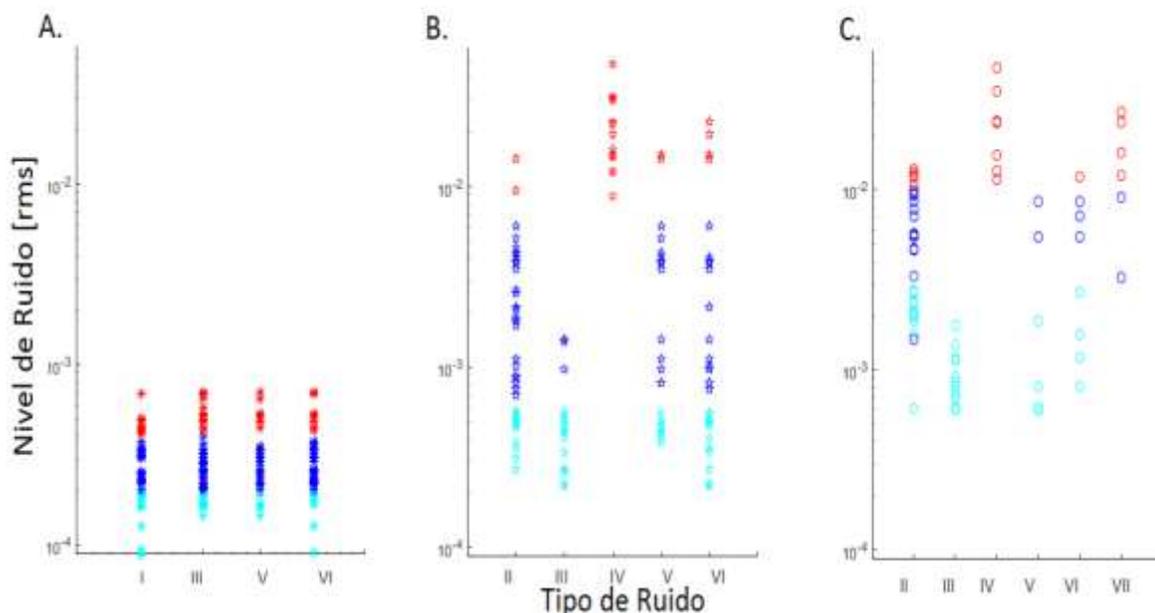


Figura 40. Niveles de ruido por clasificación de tipos de ruido. A) PP, B) BA s y, C) BK. Eje de las ordenadas representa la energía de ruido [rms], donde los colores son los niveles: alto (rojo), medio (azul marino) y bajo (cian).

Tabla X. Llamadas Be4 con una menor relación señal a ruido

Llamada BA	>250 Hz	Fc 63 Hz	Ruido	Llamada BK	>250 Hz	Fc 63 Hz	Ruido
Ne64	0.58	1.18	II	Ke6	0.64	1.34	II
Ne62	0.72	1.44	II	Ke5	0.70	1.42	II
Ne68	0.73	1.21	II	Ke16	0.72	1.42	II
Ne40	0.75	1.31	II	Ke42	0.76	1.53	II -V-VI
Ne34	0.76	1.53	IV	Ke48	0.81	1.24	II -VI
Ne67	0.85	1.47	II	Ke49	0.82	1.38	II
Ne18	0.87	1.25	IV	Ke14	0.90	1.42	II
Ne41	0.95	1.21	II	Ke47	0.91	1.33	II
				Ke41	0.96	1.40	II -VI
Llamada PP	>250 Hz	Fc 63 Hz	Ruido	Ke17	0.96	1.28	II
Pe68	0.75	1.1097	II	Ke57	0.99	1.37	II

7.4.3 Valoración del enmascaramiento de los componentes

Los componentes que se analizaron fueron el c1-30 Hz, c2-73 Hz y c5-134 Hz según los resultados preliminares, ya que son los que presentan mayor variación.

7.4.3.1 Componente 1- 30 Hz

En punta pescadero se analizaron 96 llamadas, de las cuales el 65% tenían el c1-30 Hz, el 31% de las llamadas estaba enmascarado y el 4% de las llamadas estaba ausente.

Se calculó la energía de la llamada presente en el tercio de octava de 31.5 Hz y su diferencia con respecto al CP, y se calcularon valores estadísticos (Fig. 41). Se determinó en base a la presencia del componente, que para poder detectar este componente, deberían existir al menos 20 dB de diferencia los filtros 63 y 31.1 Hz (promedio una energía diferencial de 14.4 dB, *sd* : 4.9, min: -25 dB, max: -5 dB). También se determinó que el componente empezaba en promedio 2.1 s después de iniciar la llamada (CP) y tenía una duración de 1.82 s (*sd*: 0.45). Para determinar que el componente estaba ausente, se determinó que si había una diferencia mayor al promedio más la desviación de los datos, podíamos decir que el componente estaba ausente. En la gráfica se muestra una llamada ejemplo con -29 dB de diferencia, donde con base a lo anterior determinamos que está ausente. Debido al SNR se encontraron llamadas que estuvieran en el promedio sin el componente, pero ninguna llamada tuvo más de 20 dB de diferencia entre estos dos filtros. Se calculó si la energía que presentaba el filtro del componente estaba relacionada con el nivel de ruido. El análisis de correlación de Pearson entre el nivel de ruido y la energía del componente fue positivo pero no significativo (*r*: 0.486).

En llamadas de BK donde se encontró la presencia del c1-30 Hz, pertenecían al conjunto de mayor SNR de la localidad, con nivel de ruido bajo para la octava, sin embargo en comparación con PP la proporción de SNR es bajo, y el nivel del ruido [rms] es alto.

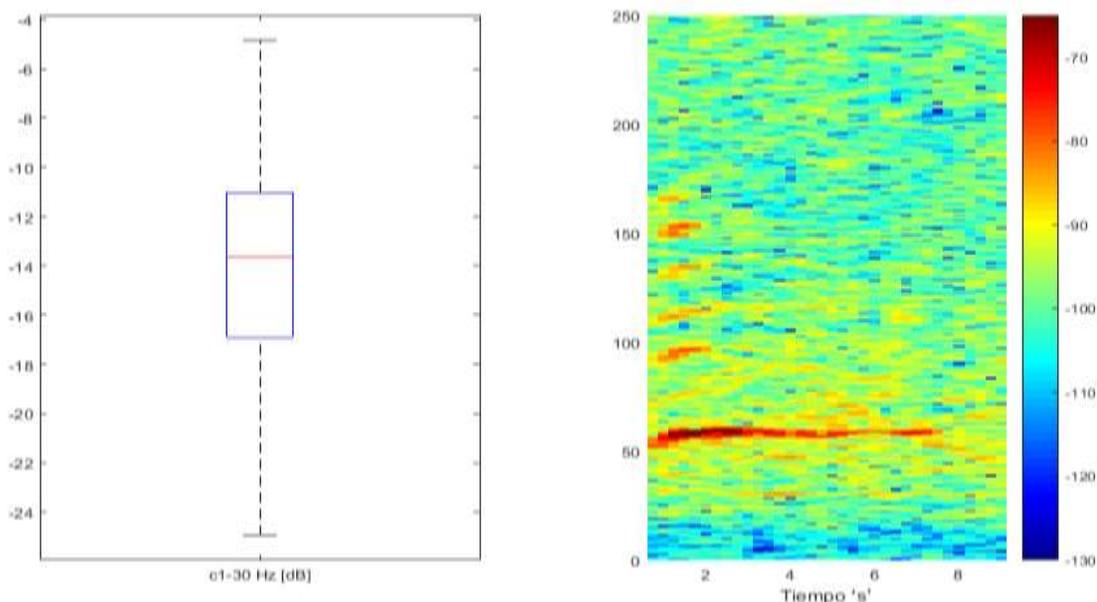


Figura 41. Diferencia de energía del c1-30Hz y enmascaramiento. Esta llamada pertenece a la localidad de PP.

7.4.3.2 Componente 2 -73 Hz

Los energía de ruido vs la energía del componente se graficó (Fig. 42), los niveles menores (barras negras y más negativas) corresponden el ruido, mientras que los mayores es la energía de la llamada (grises). Los niveles son diferentes en las tres zonas, BA (ruido:-86 dB, llamada:-79 dB), BK (ruido:-77 dB) y PP (ruido:-80 dB), hay más ruido en BK. Sin embargo, como se muestra en la figura los niveles de energía, este componente se comporta inyectando una energía promedio a PP de -65 dB, concluyendo en una diferencia de 15 dB en este componente (-80-(-65)), mientras que BK le inyecta -69 dB concluyendo en una diferencia de 8 dB (-77-(-69)), y por último BA cuya diferencia es de 7 dB (-86-(-79)).

Se relacionó el pico de energía del CP para saber si presentaba el mismo grado y dirección de cambio que este componente. Como se muestra en la figura 43, la relación fue positiva para BA (Coeficiente de *Pearson* r: 0.6355) y PP (r: 0.4535), mientras que en BK no hubo relación (r: 0.0264).

La duración promedio del componente fue de 0.79 s, sin variación significativa entre

las localidades. Sin embargo, en BK se observó que las llamadas del componente tendían a iniciar antes que el CP, encontrándose una diferencia estadística significativa en el tiempo de inicio. Tanto en BA como PP el c2-73 Hz aparece 0.17 y 0.04 s respectivamente, mientras que en BK este se observa antes a -0.22 s (ANOVA F: 19.18 t: 1.24e-07, Tukey BA vs BK Q: 2.89, *p-value*: 1e-03 $p < 0.01$; PP vs BK, Q: 5.71, *p-value* 1e-03, $p < 0.01$).

Por último, se relacionó la energía del ruido en el filtro 80, con la diferencia de energía de la llamada mostrada en ese mismo filtro, la relación fue negativa y significativa únicamente para BA ($r: -0.46$ y $p: 0.01$).

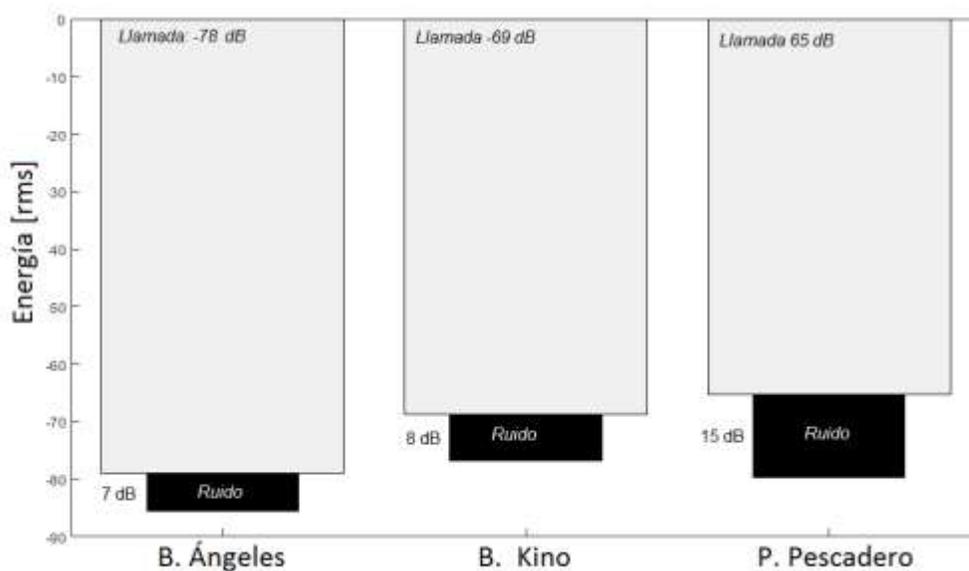


Figura 42. Energía de los filtros de un tercio de octava del ruido vs llamada en el c2 – 73 Hz. El ruido está graficado en barras negras (energía menor) y la energía de las llamadas en las barras gruesas grises (energía mayor). BA, ruido: -86.1 dB, llamada: -78.9 dB, sd: 4.7 dB; BK, ruido: -77.34 dB, llamada: -68.8 dB, sd: 5.32 dB; PP, ruido: -79.6 dB, llamada: 65.4 dB, sd: 4.3 dB. Correlación significativa entre nivel de ruido y energía de la llamada para BA ($r: -0.46$, $p: 0.01$).

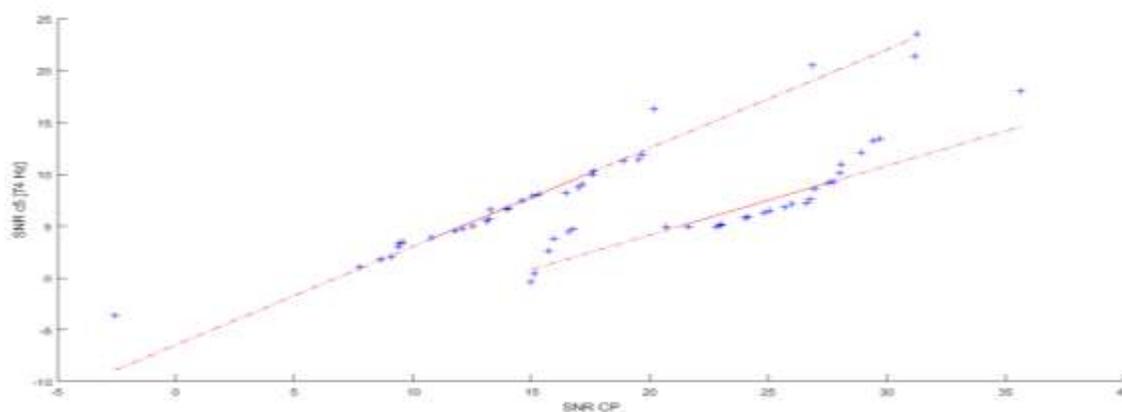


Figura 43. Análisis de correlación de Pearson entre la energía del CP y la energía del c2-73 Hz. BA, $r: 0.6355$; y PP, $r: 0.4535$.

7.4.3.3 Componente 5 - 134 Hz

La duración del componente es significativamente menor PP, con respecto al norte (ANOVA, $F:6.34$ p -value 0.0038, Prueba de Tukey para BA vs P.P, $p<0.01$, $Q:4.58$, p -value 6.34 e-03), no se encontró diferencia entre BK y PP (n7) (Tabla XI).

La mayor diferencia de energía, estuvo en los componentes representados en PP, donde además de ser menores en longitud, son mayores en energía respecto al ruido (Anova $F:5.4788$, p -value: 0.0076; Tukey B.A vs PP, $p<0.01$ $Q:4.36$, p -value 9.6 e-03), tampoco se encontró diferencia entre BK y PP.

La relación entre la energía y la duración del componente es negativa e igual en todas las localidades (correlación de Pearson, $r:-0.28$).

Tabla XI. Características del c5-134 Hz entre localidades

Localidad	n	D [s]	i [s]	Ruido	Be4	Dif
BA	25	0.858	0.186	-84.534	-73.7	10.83
BK	7	0.836	0.276	-75.1	-63.4	11.67
PP	14	0.583	0.124	-84.296	-68.5	15.8

7.4.4 Corrimiento de la frecuencia de los componentes y el ruido

7.4.4.1 Cambios en la frecuencia por nivel de ruido local y total

Se observó que los componentes más altos, coincidían con una desviación de datos (tabla IV). Por lo que nos enfocamos en los componentes de mayor frecuencia, además que dentro de ellos se incluían los que habían dado significantes para las diferentes localidades (c3-73 Hz, c4-112 Hz y c7-166 Hz).

Se aprecia que PP tiene frecuencias más altas para los componentes c5-134 Hz, c6-150 Hz y c7-164 Hz, formando un grupo distinto que el de BK y BA (Fig. 44).

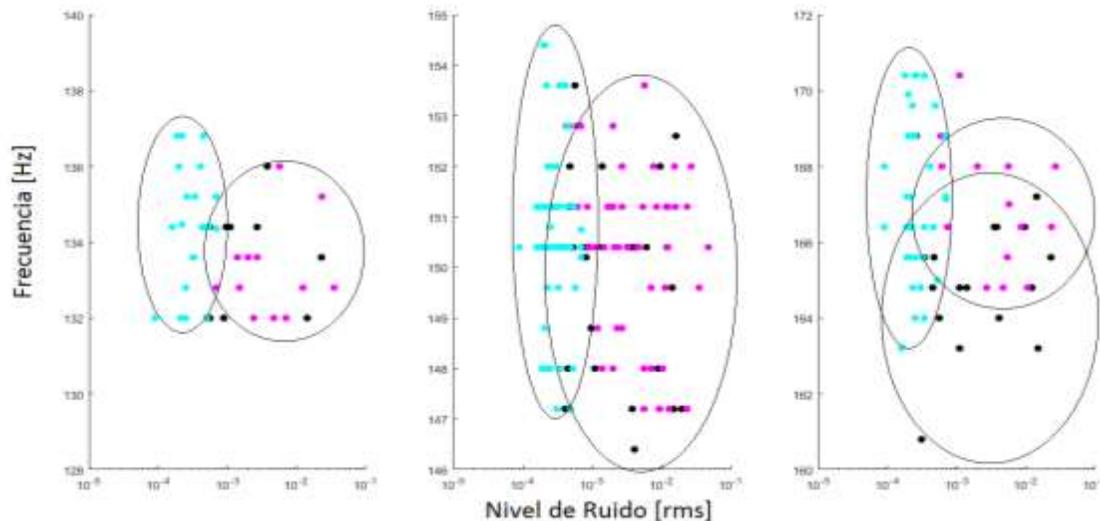


Figura 44. Frecuencia de los componentes vs niveles de ruido. A) c5-134 Hz, B) c6-150 Hz y, C) c7-166 Hz.

Debido a la poca variación en frecuencia de los c3-94 Hz y c4-112 Hz, se dividió al ruido de todas las llamadas en tres niveles de ruido (cuartiles) y se analizaron de acuerdo a estos grupos de la siguiente manera: bajo ($.884 \text{ e-}04$ a $4.34 \text{ e-}04$), medio ($4.43 \text{ e-}04$ a $77 \text{ e-}04$) y alto ($85 \text{ e-}04$ a $480 \text{ e-}04$). Se puede apreciar que las frecuencias disminuyen cuando hay menos ruido para el c3-94 Hz y el c4-112 Hz (Fig. 45), sin embargo, estos cambios *no son significativos*.

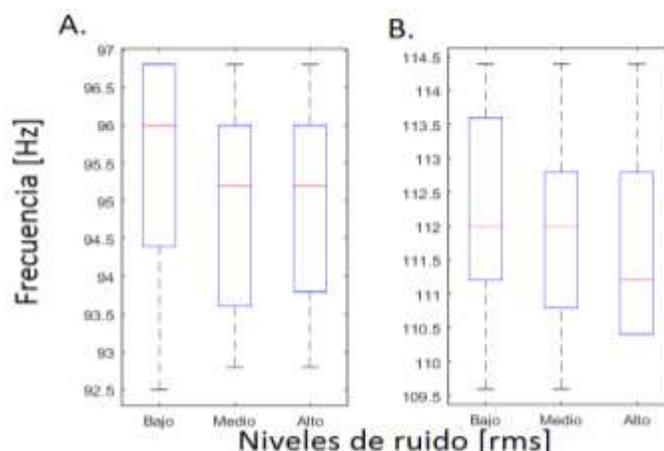


Figura 45. Frecuencia del c3-94 Hz y c4-112 Hz a diferentes niveles de energía.

Para determinar si existía correlación y significancia entre los niveles y los componentes, se realizó una correlación (tabla XII), donde arrojó que la diferencia era significativa para el componente principal, c3-94 Hz, c4-112 Hz, c5-134 Hz, c6-150 Hz y c7-165 Hz.

Tabla XII. Cambios en frecuencia de los componentes al nivel del ruido [rms]

Componente	c1 - 30 Hz			CP 59 Hz			c2 - 73 Hz			c3 -94 Hz		
Localidad	BA	BK	PP	BA	BK	PP	BA	BK	PP	BA	BK	PP
datos (n)	0	4	62	68	56	92	25	31	87	63	53	87
r	-0.035			-0.31			-0.035			-0.2		
P (dos colas)	0.784			0			0.76			0.004		
¿Significativo?	no			si			no			si		

Componente	c4 - 112 Hz			c5 - 134 Hz			c6 - 150 Hz			c7 - 165 Hz		
Localidad	BA	BK	PP									
datos (n)	67	55	92	12	12	22	46	47	62	18	14	33
r	-0.2			-0.301			-0.155			-0.2		
P (dos colas)	0.002			0.05			0.05			0.11		
¿Significativo?	si			si			si			si		

7.4.4.2 Cambios en la frecuencia por tipo de ruido

En la prueba de *t-student* para dos medias independientes, el ruido tipo VI afecta la

frecuencia del c6–150 Hz, formando dos grupos con diferencia estadística significativa (t value -1.77, *p-value* .042, $p < 0.5$), únicamente en B. Ángeles. Se agruparon y compararon 25 llamadas que presentaban el componente y este tipo de ruido con 21 que no lo tenían. Como se puede apreciar (Fig. 46), cuando hay ruido los componentes bajan en frecuencia, y cuando no lo tiene tiende a subir para este componente. Para los tipos de ruido II, III, IV y V no se presentaron diferencias asociadas con la frecuencia en los componentes.

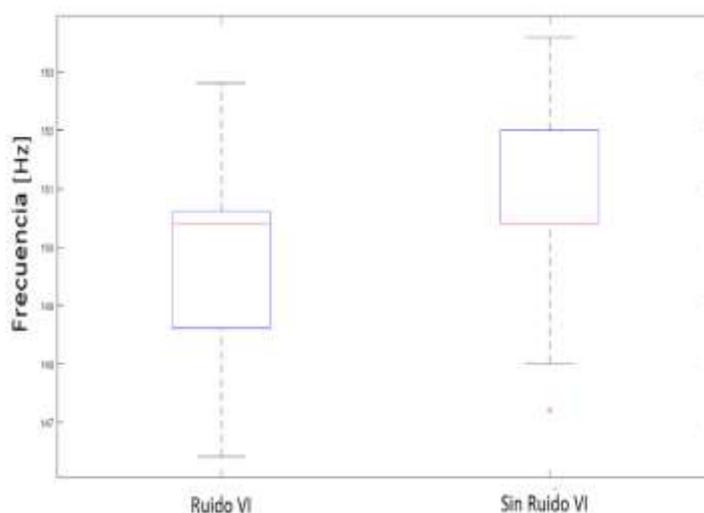


Figura 46. Diferencia en frecuencia del c6-150 Hz en presencia de ruido VI.

7.4.5 Variación de la Longitud del CP con relación al ruido

La prueba de normalidad de *Kolmogorov-Smirnov*, indica que el ruido no presenta una distribución normal en el GC, ni tampoco al ser analizado en las diferentes localidades. De tal manera que para probar relación entre el ruido y la longitud del CP se utilizaron pruebas estadísticas no paramétricas (*rho* de *Spearman*, o por correlación de rangos). El número de muestras vario a cada nivel de corte debido al enmascaramiento de la señal. Para los análisis de correlación fueron excluidas aquellas llamadas con el tipo de ruido IV por no considerarse ruido continuo como el resto de las categorías y solía presentar una banda que enmascaraba el componente, dificultando la certeza de su medición.

Los resultados muestran que no se encontró relación entre el nivel del ruido [*rms*] llamada con la duración de la misma en el norte de GC. Sin embargo, en PP la relación significativa para los cortes de -19 dB ($\rho: -0.24$ y $p: 0.03$) y -24 dB ($\rho: -0.27$ y $p: 0.02$) a mayor ruido, la llamada es más corta, pero no hubo una relación significativa para el corte a -19 dB ($\rho: -0.16$ y $p: 0.21$).

Se encontró una relación negativa más fuerte entre estas variables, siendo más significativa para el corte a -29 dB (Fig. 47).

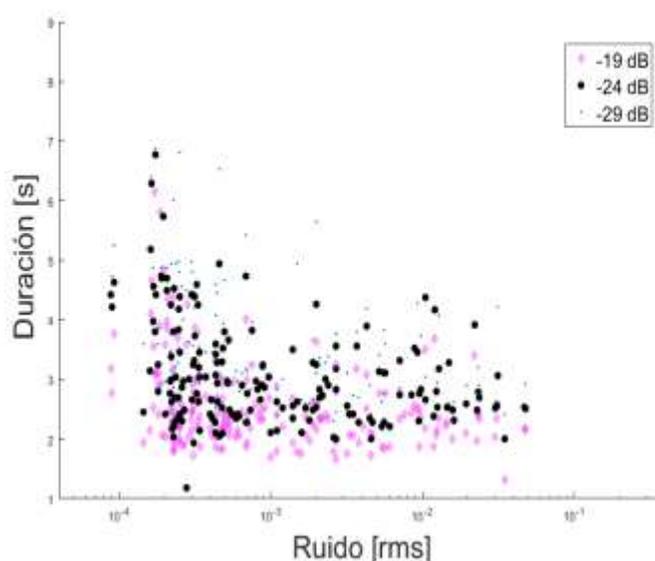


Figura 47. Variación de la longitud del CP contra el nivel de ruido [*rms*]. Los valores de ρ y el valor de probabilidad indican relación para los tres cortes (-19 dB $\rho: -0.32$, $p: 2\text{ e-}05$; -24 dB , $\rho: -0.32$ $p: 3\text{ e-}05$ y; -29 dB , $\rho: -0.35$ y $p: 3.1\text{ e-}04$).

Se analizó si la longitud del CP estaba relacionada con alguna categoría del ruido, para lo cual se realizaron pruebas que nos ayudaran a determinar la diferencia entre los grupos que presentaran ese tipo de ruido vs los que no (*t-student*). En el norte se analizaron el tipo de ruido II, III VI y VI, y en el sur entre el IV, V y VI sin encontrarse ninguna diferencia estadística entre la duración de estas llamadas a causa de estos tipos de ruido, ni por localidad ni en conjunto.

7.4.6 Gradiente de energía y su relación con el ruido

La figura 34 muestra las variaciones promedio de los gradientes en las diferentes zonas. Se puede apreciar en los espectrogramas y confirmar con los datos obtenidos, que el componente conservado de mayor energía después del CP, es el $c4-112 \text{ Hz}$, sin embargo existen excepciones, siendo el $c3-94 \text{ Hz}$ el que ocupa su lugar. Por lo tanto, queremos valorar si estos casos están relacionados con el desplazamiento de energía.

Se obtuvo el sentido y magnitud de la diferencia con una sustracción de la energía del $c3-94 \text{ Hz}$ al $c4-112 \text{ Hz}$. Los valores positivos indican mayor energía para el $c3-94 \text{ Hz}$ y los valores negativos mayor energía para el $c4-112 \text{ Hz}$.

Lo que encontramos (Tabla XIII), es que existen diferencias entre las localidades. El $c3-94 \text{ Hz}$ suele tener menor energía en BA, mientras que PP y BK tienen niveles muy parecidos. Sin embargo el "-1" indica que en BK existe una tendencia a desplazar la energía del $c3-94 \text{ Hz}$ al $c4-112 \text{ Hz}$. Los valores mínimos y máximos, así como sus desviaciones apoyan estos resultados.

Las desviación estándar más alta para los $c5-134 \text{ Hz}$, $c6-150 \text{ Hz}$ y $c7-165 \text{ Hz}$, la presento PP, resultados muy semejantes a las diferencias observadas en BK, mientras que BA parecía tener mayor tendencia a mantener los niveles de energía en sus componentes.

Tabla XIII. Diferencias de energía de los componentes discretos.

		c1	c2	c3	c4	c5	c6	c7	c3-c4
Promedio	BA		-25	-21	-19	-33	-27	-30	-2
	BK	-15	-24	-19	-17	-29	-24	-32	-1
	PP	-15	-26	-19	-17	-31	-25	-28	-2
min	BA		-33	-33	-34	-41	-35	-38	-11
	BK	-17	-38	-29	-27	-41	-39	-44	-11
	PP	-32	-35	-33	-31	-39	-41	-39	-11
max	BA		-15	-7	-6	-25	-14	-22	11
	BK	-11	-15	-4	-3	-15	-15	-16	10
	PP	-7	-11	-8	-5	-12	-3	-14	9
sd	BA		4	5	5	6	4	4	5
	BK	3	6	5	5	7	5	7	5
	PP	6	6	5	6	7	7	7	4

7.4.6.1 Cambios de gradiente de energía con los respecto a los niveles de ruido

Se agruparon y analizaron las llamadas en tres niveles de ruido: bajo ($.884 \text{ e-}04$ a $4.34 \text{ e-}04$), medio ($4.43 \text{ e-}04$ a $77 \text{ e-}04$) y alto ($85 \text{ e-}04$ a $480 \text{ e-}04$).

En el nivel medio de ruido, el componente con menor energía era el c3-95 Hz (-20.97 dB-CP , $sd: 7.3$), mientras que para los niveles alto y bajo había más energía (-18.5 dB-CP , $sd:6$). El c2-73 Hz y el c6-150 Hz tenían menos diferencia de energía (-22.84 dB , $sd 5.3 \text{ dB}$ y -23.92 dB-CP , $sd: 6$ respectivamente) en los altos niveles de ruido, es decir aumentan su energía. También observamos que las mayores variaciones se dan en las llamadas que tienen menor nivel de ruido, en los c5-134 Hz, c6-150 Hz y c7-166 Hz ($sd 7.24$, 7.18 y 6.87 dB respectivamente). Y que hay una tendencia de que a menores niveles existan mayores variaciones en dB. A niveles intermedios, las variaciones también disminuyen y por lo tanto las diferencias aumentan (mayor proporción de energía respecto al CP), para que después, en los niveles altos bajen estas proporciones de energía para unos componentes y en otras suban (c2-73 Hz y el c6-150 Hz) (Tabla XIV).

Tabla XIV. Diferencias de los componentes en tres niveles de ruido [dB].

Nivel		c1	c2	c3	c4	c5	c6	c7
Promedio	B	-15	-25.9	-18.7	-17.3	-30.3	-24.5	-27.5
	M	-16	-25.2	-21	-18.3	-31.5	-26.2	-32.3
	A		-22.8	-18.3	-19.3	-28.6	-23.9	-28.8
Min	B	-32	-34.8	-32.5	-38	-38.7	-41.1	-39.1
	M	-22	-37.7	-75.6	-34.3	-41.2	-39	-44
	A		-29.8	-30.3	-65.7	-37.5	-32	-37.9
Máx	B	-3	-10.9	-5.39	-4.97	-12.3	-3.11	-13.8
	M	-6	-14.7	-10.9	-5.49	-21.6	-14.1	-24.6
	A		-15.8	-3.64	-3.33	-15	-16.5	-16.3
Sd	B	6.2	6.11	5.49	5.89	7.24	7.19	6.88
	M	4.4	5.04	7.33	5.21	5.34	4.88	4.82
	A		5.39	6.67	5.59	6.31	6.07	6.68
Error	B	0.9	1.16	0.61	0.64	1.66	0.94	1.2
	M	1.2	0.8	0.79	0.55	1.17	0.59	1.08
	A		1.44	1.13	0.93	2.82	1.21	2.23

Se dividieron a las localidades en tres niveles distintos de ruido cada una, para saber si esta relación mostrada en las llamadas totales también se presentaba localmente. La tendencia es la misma, una alta variabilidad en el c6-150 Hz y c7-166 Hz en PP, independiente de los niveles de ruido para la zona (nivel de ruido bajo en general), así como una mayor variación del c5-134 Hz en BA (sd 10.52)

7.4.6.2 Cambios de gradientes de energía con los respecto a los tipos de ruido

El tipo de Ruido VI

Debido a que se apreció una variación de energía en los c3-94 Hz y c4-112 Hz, asociado al ruido tipo VI, se decidió calcular la diferencia entre los picos de energía de estos componentes. La diferencia absoluta, sería por lo tanto una medida de variación en condiciones de ruido, entre ambos componentes. Analizando los datos tenemos que no hay diferencias en el norte. Sin embargo, para PP los resultados muestran variaciones entre el grupo con ruido (sd: 4.25 dB, min:-11 dB, max 9 dB)

y sin él (sd: 3.21 dB, min: -9 dB, máx -5 dB). Para saber si estaban asociadas con el ruido, se determinó su correlación, la cual fue significativa ($r: -0.44$, $p: 0.006$), ver figura 48. El hecho que sea negativa indica que a menor ruido, mayor variación.

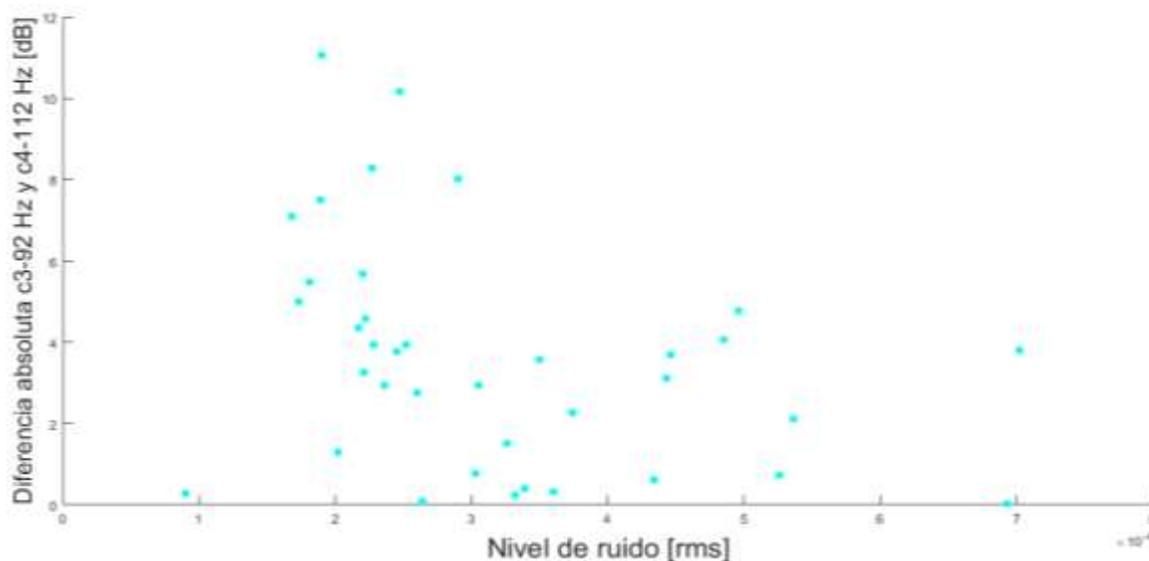


Figura 48. Relación entre el nivel de ruido y diferencia de energía del c3-94 Hz y c4-112 Hz

7.4.7 Filtros de octava y distribución de la energía

7.4.7.1 Distribución por localidad

La figura 49 muestra la diferencia de energía para cada localidad y su asociación con el ruido. Cada tipo de ruido en la imagen está integrado por dos hileras, las cuales equivalen a la excitación que producen en sus dos filtros involucrados. La energía es diferente como resultado de la mezcla de otro componente y otro nivel de ruido para ese filtro. Las llamadas que presentaron el tipo IV se excluyeron de este análisis.

En BA no tiene diferencias de energía respecto al ruido ambiental para los primeros tres filtros, pues el ruido en esta zona es muy alto y no se apreció el c1-30 Hz. Los

componentes de esta localidad son los que menos energía diferencial presentan y por lo tanto podrían ser fácilmente enmascarados. Los filtros resaltados en rojo indican diferencias altas variaciones en desviación de los datos, por lo tanto, estas variaciones coinciden con las del ruido. Es la zona donde menor energía presenta el c2-73 Hz, y donde también más varía el CP.

En BK la característica más notoria es la energía del c5-134 Hz y c6-150 Hz, los cuales excitan el filtro de banda 150 Hz, este como se puede apreciar en la figura 50, no suele presentar enmascaramiento por parte del ruido y su energía está delimitada a diferencia de las otras dos zonas, a pesar que los niveles de ruido son mayores. La energía que hay en los filtros bajos es ligeramente menor que la del ruido, y la energía que inyecta al c3-73 Hz es de la misma proporción que PP, lo que coincide con los datos del gradiente de energía.

Por último en PP se distingue la energía de los filtros bajos debido a la presencia del c1-30 Hz, además de la alta energía del c2-73 Hz a diferencia de las demás localidades.

7.4.7.2 Distribución por niveles

La relación señal a ruido (SNR) es una medida usada para saber la diferencia o proporción de energía que hay en una llamada respecto al ruido de fondo. Pero cuando los niveles de ruido se centran en una frecuencia, como es el caso de los tipos de ruido del GC, las estrategias a emplear deben de ser otras, como por ejemplo filtrar la llamada en las frecuencias que nos interesan (<250 Hz), bajo el supuesto que las modificaciones tienen a lugar cuando son enmascarados componentes que comprometen la señal.

Los niveles de ruido se determinaron sumando la energía en los filtros de banda de los componentes conservados y el CP (filtros: 63, 100 y 125 Hz). Se ordenaron las llamadas de menor a mayor energía así como su ruido previo. Los resultados se muestran en la figura 50.

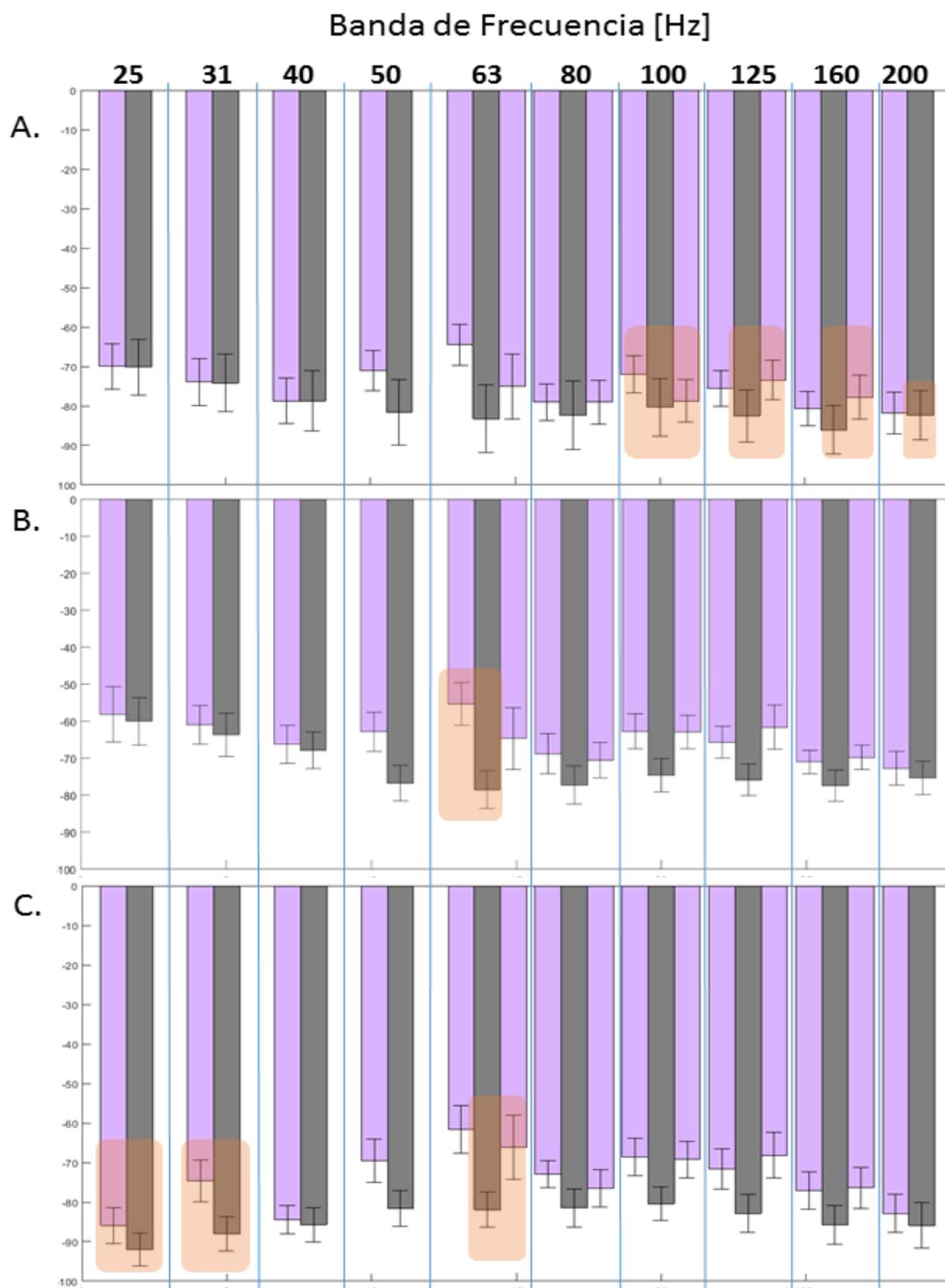


Figura 49. Filtros de tercio de octava: relación llamada vs ruido, por localidad. A) BA, B) BK y, C) PP.

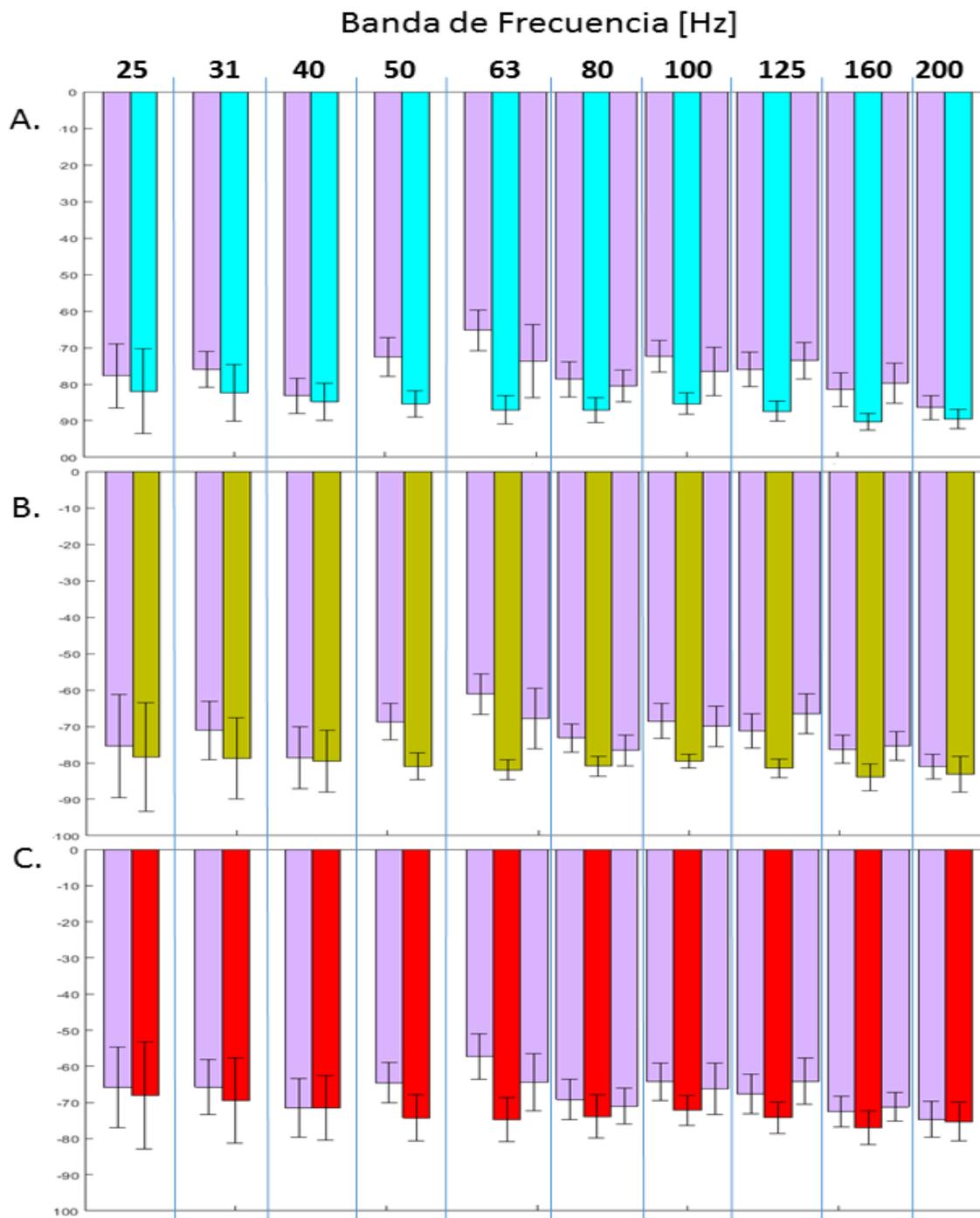


Figura 50. Filtros de tercio de octava: Relación llamada vs ruido, a diferentes niveles de ruido. A) Ruido bajo (azul), B) Ruido medio (verde), y C) Ruido alto (rojo).

7.4.7.3 Distribución por tipos

La distribución del ruido para cada uno de los tipos de ruido se muestra en el mapa de calor de la figura 51, y se describen a continuación.

Ruido tipo I: Este tipo de ruido es una banda entre 20-110 *Hz*, no hay ruido en las bajas frecuencias. Hay energía en el componente más bajo y la energía que manda el filtro de 100 *Hz* es alta, es decir la energía que tiene principalmente es en el c4-112 *Hz*.

Ruido tipo II. Este ruido es de baja frecuencia en el norte principalmente. Vemos que no hay energía en los filtros de baja frecuencia, es donde hay menos energía en el c4-112 *Hz*, vemos energía en el c6-164 *Hz*.

Ruido tipo III. A diferencia del 2, no tiene la banda intensa de baja frecuencia, sino un enmascaramiento intenso entre 20-110 *Hz* que puede ser intermitente. Este tipo de llamadas centra su energía en el c3-94 *Hz*, c4-112 *Hz* y c5-134 *Hz* y c7-164 *Hz*. La proporción de energía que manda al filtro 100 muy parecida a la del filtro 125, lo que indica que el c3-94 es el que está aumentando, y por lo tanto baja su frecuencia.

Ruido tipo IV. Tipo explosiones intensas desde la baja frecuencia. Debido a su intensidad, es el que tiene menor intensidad en los bajos filtros, y es la llamada que más energía manda al c3-94 *Hz*, además del c5-134 *Hz*, y por lo tanto del c4-112 *Hz*.

Ruido tipo V. Es una banda en frecuencias superiores. Es la llamada con más proporción de energía en el filtro de banda 50, es decir filtro que excita el CP. Su energía se concentra en el filtro 125 *Hz*, es decir en la combinación de componentes, especialmente el c4-112 *Hz*.

Ruido tipo VI. Una banda de ruido entre 90 y 200 *Hz* variable. Al igual que el tipo III, la proporción de energía entre el filtro 100 y 125 *Hz* indica que se incrementa la energía del c3-94 *Hz*. Es decir la llamada tendería a bajar su frecuencia.

Filtros de un tercio de octava

	20	31.5	40	50	63	80	100	125	160	200	
Tipos de Ruido	I	0.30	0.63	0.10	0.64	1 0.79	0.41 0.26	0.49 0.47	0.43 0.59	0.35 0.43	0.14
	II	0.07	0.10	0.09	0.59	1 0.52	0.29 0.24	0.49 0.32	0.39 0.53	0.30 0.45	0.08
	III	0.15	0.34	0.00	0.57	1 0.68	0.42 0.27	0.62 0.47	0.61 0.78	0.38 0.43	0.11
	IV	0.00	-0.14	0.00	0.30	1 0.75	0.32 0.00	0.36 0.11	0.28 0.78	0.26 0.32	0.04
	V	0.18	0.39	0.08	0.65	1 0.63	0.35 0.25	0.53 0.36	0.49 0.62	0.33 0.47	0.09
	VI	0.20	0.35	0.07	0.60	1 0.69	0.34 0.23	0.52 0.33	0.51 0.64	0.36 0.46	0.12

Figura 51. Mapa de calor de la distribución de la energía por tercios de octava en diferentes tipos de ruido. Se muestran la energía más parecida (alta) al CP en rojo con el valor 1, mientras que los más lejanos o diferentes en están en azul.

Filtros de tercio de octava

Tipo	20	32	40	50	63	80	100	125	160
I	4%	9%	1%	9%	14%	6%	7%	6%	5%
					11%	4%	7%	9%	6%
II	1%	2%	2%	11%	19%	5%	9%	7%	6%
					10%	4%	6%	10%	8%
III	2%	5%		8%	15%	6%	9%	9%	6%
					10%	4%	7%	12%	6%
IV				7%	22%	7%	8%	6%	6%
					17%		2%	17%	7%
V	3%	6%	1%	10%	16%	6%	8%	8%	5%
					10%	4%	6%	10%	7%
VI	3%	6%	1%	9%	16%	5%	8%	8%	6%
					11%	4%	5%	10%	7%

Figura 52. Tabla de distribución de la energía de la llamada por tipo de ruido. El mapa de calor muestra los niveles más cercanos al CP en rojo con el valor 1, y los más lejanos o diferentes en dB del CP en azul.

La distribución de la energía total de la llamada por porcentajes (Fig. 52), muestra para aquellos componentes que se identificaron, donde esta concentrando la energía la llamada Be4, bajo diferentes condiciones de ruido.

Podemos ver que en los ruidos tipo II y tipo IV, bajan su energía, centrándola en el CP, que son las llamadas en el norte generalmente. También podemos apreciar como el tipo de ruido II, tiene energía en el filtro 160 *Hz*, a pesar que el norte no se caracteriza por tener componentes en las altas frecuencias, esta energía probablemente esta responsable del c6-150 *Hz* y c7-164 *Hz*, de BK. En esta imagen también se puede apreciar que el tipo de ruido I en promedio, cuando tiene el c1-30 *Hz*, centra su energía en los tres filtros bajos. Por último, en términos de porcentajes de energía, vemos una relación muy parecida entre el tipo de ruido V y el tipo de ruido VI.

8. DISCUSIÓN

El ruido

El ruido ambiental es el ruido que proviene de fondo, de todos los alrededores y con el cual las especies se enfrentan en su ambiente natural (Wysocki *et al.*, 2007). Este sonido es importante pues juega como factor “limitante” interfiriendo con la detección y la discriminación de señales cruciales entre miembros de una especie (Foote *et al.*, 2004). Si bien es cierto que los factores naturales pueden fluctuar con el tiempo, la preocupación surge por los incrementos acelerados a lo largo de varias décadas en algunas áreas, atribuidos principalmente a la navegación comercial (Warren, 2009).

Las fuentes del ruido ambiental pueden ser derivadas de procesos físicos naturales, antropogénicos o biológicos, y cada fuente que emite sonido se caracteriza por variar en cuanto a las características del sonido producido (frecuencia, amplitud, duración, tiempo de subida, direccionalidad, tiempo de acción y tasa de repetición) (Heldreband, 2009).

Clasificación del ruido en el Golfo de California

Nos dimos a la tarea de caracterizar el ruido ambiental del Golfo de California, pues no se cuenta con ningún estudio en esta región que tipifique los sonidos, y que pueda evaluar las posibles fuentes que intervienen en su producción y generación. En realidad, se desconocen los niveles de ruido marino dentro del GC.

Reportamos las diferencias en los niveles de ruido de tres localidades del GC, caracterizamos y tipificamos el ruido en nivel, frecuencia <1000 Hz y tercios de octava <630 Hz (Figs. 22 y 27).

La clasificación que proponemos de 6 tipos de ruido, se basa en el impacto biológico que pueda representar para las llamadas de misticetos de bajas frecuencias. Entre estos misticetos se encuentran *B. physalus*, *B. musculus*, *B. Sei* y *B. edeni*. Los

cuales producen vocalizaciones con frecuencia fundamental <250 Hz (Wilcox *et al.*, 2013).

Encontramos que mientras algunos tipos de ruido son comunes en más de una localidad, otros son característicos de ellas. Nuestra clasificación es la combinación de tipos de ruido y los niveles de energía en ellos. Notamos que el ruido es diferente entre el norte y el sur del GC según lo que se muestran en nuestros análisis con las tres localidades muestreadas. Asociamos que los diferentes niveles de ruido podrían deberse a las fuentes de ruido entre estas dos regiones.

El sur de GC presentó principalmente ruido ambiental constante de 20-110 Hz

El sur (Punta Pescadero) presentó una banda de intensidad baja (tipo I) y otra de intensidad moderada (tipo III) entre 20-110 Hz, la cual no se encuentra en el norte (Fig. 18). Los datos de Chapman y Price (2012) señalan un incremento en los últimos 33 años de entre 9-10 dB en las frecuencias de 20- 80 Hz y, de 3 dB en las frecuencias de 100 Hz. Estos ruidos provienen de las zonas con mayor tráfico naviero. Porter y Henderson (2014) modelaron el ruido producido por las embarcaciones, el mapa muestra que los niveles correspondientes en el sur del Gofo de California son de moderados a altos.

Una característica sobresaliente que se muestra en los análisis en frecuencia, es la intersección que tienen los niveles de ruido en PP y BA, ya que los espectros se cruzaran arriba de los 120 Hz (Fig. 22). En nuestros resultados aunque PP se caracteriza por ser la zona de menor ruido total (valores de rms) en un orden de magnitud al calcular los niveles totales de ruido, cuando se analiza los niveles en el rango de frecuencia el panorama es distinto, pues la pendiente no es tan pronunciada como la de BA, lo que causa que se intercepten alrededor de los 140 Hz, para terminar con niveles de ruido ambiental aún mayores.

A pesar que el ruido tipo I y III comparten las mismas frecuencias se cree que estos sonidos o son de diferente magnitud o son causados por diferentes fuentes. Si bien

es cierto en los últimos años las investigaciones se han concentrado en el tráfico naviero, también en esta misma frecuencia se ha reportado ruido que depende de la velocidad del viento (Champman y Cornish, 1992). Creemos entonces una posibilidad que el tipo de ruido III pertenezca a tráfico naviero, mientras que el ruido tipo I, podría ser de otra magnitud, distancia o fuente.

La comparación por tercias de octava del tipo de ruido VI (Fig. 25), se caracteriza por presentar mayores niveles de ruido a frecuencias semejantes 90-200 *Hz*. Se encontró que el ruido ambiental de tráfico naviero distante dominaba las frecuencias de 20-80 *Hz*, pero podría alcanzar hasta 300 *Hz* dependiendo de la densidad así como el tipo y distancia de las embarcaciones, siendo estas frecuencias atribuidas a embarcaciones de tipo local (Hildebrand, 2009). Se puede apreciar que PP es la zona que presenta un nivel más bajo de ruido hasta la banda de frecuencia 63 *Hz*, y de allí en adelante aumenta sus niveles, presentando su el mayor nivel en los filtros de banda entre 50-250 *Hz*.

Los Cabos es una zona turística, donde el tráfico naviero es habitual, este por lo tanto contribuye al ruido ambiental, por lo que creemos que está relacionado con el tipo de ruido III, de tráfico local. Además que por su posición geográfica recibe más contaminación sonora del Océano Pacífico, pues el sonido a bajas frecuencias puede viajar kilómetros en distancia (tipo I) (McDonald, 2008)

Debido a que los cambios en los niveles de ruido en el océano se consideran recientes, consideramos importante valorar el impacto biológico del ruido producido por las embarcaciones, cuyos análisis en filtros de tercio de octava muestran niveles mayores significativamente.

Otra característica encontrada en la zona es la alta concentración de segmentos de sonido con ruido ambiental tipo biótico, esto se puede observar en los picos de los espectros del tipo de ruido V. Estos mismos picos ya han sido identificados por otros estudios y atribuidos a Ballena Jorobada (McDonald, 2008).

Esto supone una gran de variación en el ruido ambiental de fuente biológica, la cual también parece atribuirse a temporalidad, pues existen archivos con mucha presencia de estos llamados.

El Golfo de California, es bien conocido por ser el habitat de poblaciones residentes y transeúntes, se considera como una región donde hay desplazamiento de cetáceos debido a la migración y su consecuente afluencia de diversas poblaciones y especies (López, 2014).

Los niveles y abundancias en estos segmentos de archivo, además concuerdan con los reportes de recuperación de stocks, consecuencia de las normas y leyes de protección de mamíferos marinos (IWC, 2012)

Si analizamos el filtro de octava este también aumenta de intensidad a partir del filtro de banda de 63 Hz, sin embargo se aprecia con más claridad en el espectro con un aumento de nivel entre las frecuencias de 250-400 Hz. Este tipo de ruido está en todas las localidades, la diferencia radica en los niveles.

En semejanza con BA, se encontró una muestra con tipo de ruido II, aunque su reporte fue excepcional.

El norte del GC presentó ruido ambiental de frecuencias entre 0-55 Hz (tipo II).

En el norte, todas las llamadas tienen el tipo de ruido II o III y IV. La mayor proporción corresponde al tipo II con frecuencias 0-55 Hz (83 % en BA contra 58 % en BK). Estas llamadas no son excluyentes de los tipos de ruido V y VI, por lo que explicaría que la llamada tipo V haya mostrado diferencias significativas con PP, además que sus implicaciones sonoras en combinación también pueden ser distintas (Fig.18). El tipo de ruido II con energía < 25 Hz, aunque es característico del norte también se presentó en el sur, pero su recurrencia fue muy excepcional, con tan sólo fue en el 1.5% de las segmentos analizados.

Se puede apreciar que tanto los niveles como las frecuencias de mayor ruido son similares en el norte por debajo de los 200 Hz (Fig. 22). Bahía Kino se caracterizó

por ser la zona que presentaba mayores niveles de ruido, este ruido se podría asociar a explosiones sísmicas en las bajas frecuencias entre 0-200 *Hz*. Sin embargo, en frecuencias superiores a 200 *Hz* Bahía de los Ángeles tiene el menor nivel de ruido de las localidades muestreadas.

El GC se caracteriza por una zona sísmica debido a que una parte del límite de la placa tectónica del Pacífico con respecto a la Norteamericana se localiza en este golfo. La velocidad de desplazamiento de una placa tectónica con respecto a la otra en esta región va de los 41 a los 54 milímetros por año. El límite entre ambas placas es de tipo transformante y consiste en una serie de fallas, casi paralelas a la costa que conectan segmentos oceánicos (Oskin, *et al.*, 2001). Como se explicaba anteriormente, el ruido en frecuencias menores a 10 *Hz* es producido por sismicidad. Por tanto, proponemos que el ruido tipo II registrado en las localidades de BA y BK el norte del GC pudiera estar relacionado a la actividad sísmica de esta región, sin embargo se requieren más estudios para poder hacer estas asociaciones.

El ruido de la zona norte del GC presenta altos niveles de energía en las frecuencias <20 *Hz*. Se sabe que el ruido a los 5 *Hz* se relaciona a fuentes geológicas, así como a actividades volcánicas e hidrotérmicas. El ruido en frecuencias menores a 10 *Hz* es producido por sismicidad. El viento en la superficie domina de 100 *Hz*-20 *kHz*. Mientras que las embarcaciones distantes son la fuente de ruido dominante de 10-200 *Hz* (Sirovic, 2013).

En esta zona se pudo identificar ruido biótico, atribuido a llamadas de *B. Physalus* de 20-40 *Hz*, y a *B. Musculus*, sin embargo no era de tipo ambiental, por lo que se descartaron estas muestras, por considerarse ruido tipo focal.

Todos estos resultados concuerdan con análisis realizado por un tercio de octava, por lo que este método de cuantificación es relevante, en especial cuando se desean valorar las implicaciones sonoras del ruido en los misticetos (Moore, 2012a).

En comparación con nuestro trabajo y los trabajos anteriormente mencionados (Chapman, 2011; McDonald, 2008; Urick, 1962), nuestros datos no se ajustan a los en las bajas frecuencias <20 Hz, pues además corresponden a la mayoría de nuestras muestras. La teoría general de estos estudios señala que a mayor frecuencia mayor nivel de ruido y que la pendiente caerá por debajo de los 200 Hz, en general se compara con los estudios anteriores. Además que las exploraciones donde se ha apreciado el tipo de ruido sísmico y de explosiones ya ha sido reportado en varios trabajos (Hildebrand, 2009; Kerman, 1984; Webb, 1998)

Así mismo consideramos de gran utilidad hacer por lo menos dos etapas de clasificación. La primera sugiere un análisis visual, pues los espectrogramas nos darán una idea clara y rápida de los niveles de ruido a distintas frecuencias; posteriormente en niveles de ruido [*rms*]. Es importante distinguir entre ruido intermitente y constante, por sus implicaciones biológicas.

Consideramos que estos resultados pudieran servir para comprar los niveles de ruido con aquellos observados en otros sitios, y determinar si estos cumplen con la tendencia que Urick (1965) y Ross (1950) sugieren.

La llamada

El componente principal encontrado y que caracteriza a las llamadas coincide con los trabajos anteriormente reportados (Viloria *et al.*, 2015; Kershby *et al.*, 2012; Oleson *et al.*, 2003).

Caracterización de la llamada Be4

Caracterizamos los componentes de la llamada Be4 de *B. edeni* mencionados previamente en el trabajo de Viloria *et al.* (2015), y los clasificamos en: conservados y variables, en función de su recurrencia y sus características.

El grupo conformado por los c3-94 Hz y c4-112 Hz a los que clasificamos como componentes “conservados” y en los cuales se basaron este estudio para hacer comparaciones entre las llamadas. Son también los de mayor energía, después del CP. Y son “comunes” pues han sido reportados en otros trabajos para las poblaciones del Pacífico (Kershy *et al.*, 2012).

Los componentes variables estarían entonces representados por el c1-30 Hz, el c2-73 Hz, el c5-134 Hz, el c6-150 Hz y el c7-164 Hz que a excepción del c1-30 Hz suelen ser los de menor energía y no siempre identificables en las vocalizaciones. Se determinó su recurrencia en cada zona, frecuencia, duración, diferencia en dB respecto al CP y se valoró su energía por filtros de tercio de octava.

Caracterización en frecuencia de los componentes

En la caracterización de la frecuencia de los componentes, observamos que la variación está relacionada de manera positiva con la desviación estándar. La desviación estándar de las frecuencias nos estaría entonces proporcionando información relacionada con la capacidad fisiológica de la membrana basilar (García *et al.*, 2010).

Encontramos una diferencia significativa en la frecuencia de los componentes constantes y el componente con mayor frecuencia. La diferencia estadística se aprecia por zona, y es para el c3-94 Hz y c4-112 Hz una diferencia de 0.7 Hz, y para el c7-166 Hz de 1.2 Hz. Nuestra resolución fue de 0.8 Hz, sin embargo debido a la cantidad de muestras analizadas y las diferencias entre ellas concluimos que estos componentes si tienen diferentes frecuencias por zona. En general, notamos como característica PP tiene a aumentar la frecuencia, siendo más similar con BK que con BA en las frecuencias. Respecto a las variaciones en el gradiente de energía, el único componente que presentó variaciones significantes fue el c2-73 Hz, el cual también tiene menos energía. Sin embargo, el componente con más variación de la diferencia de dB respecto al CP fue el c6-166 Hz, no obstante estas diferencias no

fueron significantes. Las consecuencias fisiológicas de estos nos habla de desplazamientos en la distribución de energía, o bien de llamadas con distribuciones diferentes

Esto parece indicarnos que las llamadas pueden presentar tanto variaciones geográficas como intrínsecas. Las variaciones geográficas pueden ser a un nivel a menor escala, pues ya es conocido que esta especie se distingue por vocalizar diferente de acuerdo a su hábitat (Oleson *et al.*, 2003). Mientras que las variaciones intrínsecas pueden ser producto de la diversidad de características en las llamadas, producto de la gran diversidad genética encontrada en la población del Golfo de California (Viloria *et al.*, 2015) o bien estar relacionadas a condiciones ambientales como ha sido probado en otros cetáceos (Dunlop *et al.*, 2010, 2013, 2014, Parks *et al.*, 2011).

Variación en la longitud del CP

En el análisis de la llamada Be4 se observó que el componente principal fue diferente en longitud a diferente gradiente de corte y que estas variaciones eran también distintas en los cortes de 19 *dB* y de -24 *dB*, pero no presentaban diferencia a -29 *dB*. Lo que indica que existe un punto (-29 *dB*) donde las llamadas son iguales espectralmente, pero que en la capa exterior las llamadas difieren. Esto sugiere que las llamadas entonces son diferentes en longitud. Nuestros resultados concuerdan con los reportados, los cuales encontraron que la variación en la longitud del CP era una característica diferente para las llamadas de la zona norte y sur del Golfo de California (Viloria *et al.*, 2012).

Si las llamadas fueran diferentes, podría representar características particulares de grupos distintos, pues se considera que dentro del GC converge una sola subespecie. No encontramos variación temporal significativa en el CP en PP como para sugerir que la duración esté relacionada exclusivamente con una característica de las vocalizaciones de poblaciones transeúntes.

Sin embargo si puede ser una característica transmitida por estas poblaciones, si esta representa una ventaja, puesto que está bien documentado que la tasa de cambios en las vocalizaciones aumenta cuando un individuo se añade o cambia de grupo (Yurk *et al.*, 2002; Deecke *et al.*, 2000). El hecho que sea diferente significativamente implicaría necesariamente o que son dos grupos distintos y por lo tanto que cada grupo vocaliza diferente, o que existe un factor ambiental diferente en los sitios a la cual están reaccionado y esto les conferiría ventajas y/o desventajas en la variación de la longitud del CP. El hecho que sean dos stocks distintos en cada zona, lo han sugerido trabajos (Salvadeo *et al.*, 2011). Dos grupos vocalizando a diferentes tasas es un comportamiento observado en orcas, donde existe variación en la tasa de las llamadas cuando individuos nuevos se añaden a una población, tal como sería el caso de poblaciones transeúntes. Además, Tershy *et al.* (2012) ha demostrado que *B. edeni*, cambia su patrón de distribución en busca de alimento, lo que podría sustentar que las poblaciones transeúntes presentes más variabilidad. Además la diversidad en las llamadas Be4 de *B. edeni* en las localidades BA BK y PP del GC indica que existe una rápida adaptación acústica. En cuanto a los factores ambientales, el más importante se consideraría el ruido, el cual es diferente en el sur del GC, y es descrito a detalle en la sección de ruido.

El componente 30 Hz

Este componente, cuando está presente, está en los tres componentes discretos más importes de Be4 en cuanto a su energía, además es el más grande en longitud y empieza después del pico de energía del CP, su corrimiento en frecuencia no presenta variación ($sd 0.3$ Hz). El hecho de que este componente empiece después del pico de energía del CP, impacta directamente en la longitud de la llamada, alargándola cuando está presente un promedio de 2.3 a 4.1 s, es decir, casi el 40 % de su longitud.

A pesar de todo esto, no se cataloga como un componente conservado, por su alta variación en recurrencia entre las localidades. Se pudo determinar en un 65% de

las llamadas en PP, en un 7% de las llamadas en BK, pero en ninguna llamada en BA. Estuvo enmascarado un 30% de veces en PP, un 49% en BK y un 25% en BA (Tabla II). El hecho de que en BA haya un porcentaje menor de enmascaramientos es debido a las características del ruido y del c1-30 Hz, pues tiene una longitud promedio de +2 s (Fig. 32) y el ruido del norte al ser tipo intermitente posibilitaba distinguirlo en los intervalos (Fig 17), a diferencia de BK que era mucho más intenso.

Es importante señalar que cuando se determinó la recurrencia de este componente en PP en 324 llamadas (tabla III), se usaron llamadas con un proporción SNR >2, estableciéndose que se encontraba en una de cada tres llamadas. Esta diferencia de presencia del 30% en este estudio vs el 66% en los últimos análisis, se atribuye a que en el segundo estudio se agregaron otras dos condiciones: presencia de componentes conservados, además de que se seleccionaron las 99 mejores llamadas con base a su SNR (tabla XIII).

Filtros de un tercio de octava de la llamada Be4

El impacto de la variación en los componentes con mayor frecuencias es mitigado por el rango de las bandas críticas isofrecuentes (Moore, 2012b). Donde la variación afectara en mayor medida a aquellos componentes de más baja frecuencia (Kandel, 2000). Los filtros de octava a través de los cuales es descompuesto el sonido siguen una distribución logarítmica, pues a mayor frecuencia del componente se requiere una mayor diferencia en frecuencia.

Entre mayor sea la diversificación de los componentes de las bajas frecuencias, como lo es en la llamada Be4 de *B. edeni*, mayor podrá ser el número de filtros que excite, y por lo tanto la hará una llamada más sonora. Cuando la llamada presenta los 7 componentes discretos, estos se distribuyen de tal manera que cada uno cae dentro de un filtro de octava distinto (Fig. 36), siendo el c1-30 Hz el que mayor bandas críticas excita (Fig. 53), pues a pesar que no hay ningún componente en el

filtro de 40 *Hz*, este también presenta energía de la llamada en presencia de este componente.

El c3-94 *Hz* y c4-112 *Hz*, se caracterizaran como componentes discretos constantes los cuales centran su energía en un solo tercio de octava (100 *Hz*), y otra proporción a su filtro lateral correspondiente (94 y 125 *Hz*). Los componentes c3-94 *Hz*, c4-112 *Hz* y c5-134 *Hz* son cercanos en frecuencia, integrando y sobrelapando sus energías entre ellos para excitar al filtro de banda de 125 *Hz*, esto explica porque es el filtro con más energía. Es importante destacar que los componentes variables cumplirían la función de inyectar energía a estos los demás tercios de octava (c2-73 *Hz* y c5-150 *Hz*) para hacer la llamada más sonora, y que a pesar de no tener mucho energía su enmascaramiento si afectaría directamente en la sonoridad. Dado que la mayor energía de la llamada está centrada entre los filtros de octava de 59-125 *Hz*, nos hace pensar en la importancia que cumplen estos componentes.

Cuando se valoró el porcentaje de energía en los dos filtros que excitaba el CP (63 y 80 *Hz*), se encontró que la proporción variaba únicamente el 3% de energía en el filtro 63 *Hz* cuando el c2-73 *Hz* estaba. Esto sugiere, o que la proporción de energía de este componente es baja en el filtro 63 *Hz*, enmascarada quizás, por la cantidad de energía del CP, o que es un componente que siempre está presente y por lo tanto no afectara la proporción al estar presente. A pesar de que el CP no varía su frecuencia significativamente, tampoco se descarta modificaciones en amplitud (Fig. 33), o que la función principal de este componente sea únicamente la relativa al filtro de 80 *Hz*. Pero que tan significativo es este porcentaje, recae en el campo del estudio de los filtros Mel.

Otras variaciones en llamada Be4

Reportamos otras variantes de las llamadas de Be4: 1) Con doble amplitud en la f_0 y con componentes discretos en ambas vocalizaciones y, 2) Con doble amplitud en

la f_0 , sin componentes discretos en la segunda vocalización y a una distancia menor a 2 s.

La primera variación sugiere que podría ser una sola llamada pero vocalizando en la f_0 a dos tiempos diferentes, pues su grafica en el tiempo muestra doble amplitud. Oleson *et al.* (2003) reporto la tasa de vocalización de Be4 a 3.35 min [1.83 -7.08], en campo nosotros no podemos determinar la tasa pues las grabaciones son a partir del HARP, el cual es estático y depende del desplazamiento de la ballena. Otra posibilidad es que sean dos ballenas vocalizando a distancias diferentes del hidrófono que reforzaría el hecho que tenga componentes a diferentes intensidades arriba de la segunda vocalización en (Fig. 27 B). A pesar que *B. edeni* se caracteriza por su comportamiento solitario, se ha confirmado en campo que cuando se graba esta vocalización suela haber más de una ballena (Viloria *et al.*, 2015). Aunque no se conoce la función de Be4, se le asocia con zonas de alimentación. Este comportamiento se ha reportado también en el norte del Golfo de California, pues se ha visualizado a *B. edeni* formando grupos de 2-3 individuos (Kato y Penin, 2009; Tershy *et al.*, 1993).

La variación que involucra diferencias en la vocalización del CP mayores en tiempo [<2 s], podría ser producto de una mayor duración en la llamada, la cual como consecuencia de tener diferencias en su gradiente de energía, se pierde la energía efecto de la propagación (Fig. 27C). Esta llamada no presenta componentes discretos arriba de la segunda vocalización en la f_0 . La grafica en tiempo sugiere que esta es variación en la longitud del CP, una estrategia acústica, que coincide con que este tipo de llamada que solo se apreció en Punta Pescadero.

Además de los 7 componentes discretos ya mencionados, también se observaron otros componentes en las llamadas en las tres localidades (anexo II), esto nos habla de la gran diversidad que hay en la llamada. Estos componentes “raros”, se encontraron en más de una ocasión y son tanto por debajo de la frecuencia fundamental como por arriba (a 40 Hz y >165 Hz). En el caso del c40 Hz, las llamadas provienen de un mismo archivo de PP, para las llamadas con

componentes >165 Hz, se encontraron en BA y PP, siendo estos más comunes en PP, y de donde se identificaron además en diferentes archivos de grabación. Dentro de las implicaciones biológicas de estos componentes es que al excitar justamente esos filtros donde no se encontraba energía, y cuya relación no parece ser una consecuencia azarosa, la consecuencia directa es la sonoridad ó la distribución de energía. Estas llamadas también son mucho más comunes en el sur, y se considera probable que esté relacionado con el ambiente acústico, porque estas llamadas se caracterizaban por estar en presencia de algún tipo de ruido intermitente ya sea de fuente biótica o natural (este último tipo de ruido en BA). Por otro lado, si las llamadas estuvieran asociadas a la presencia de fuentes bióticas nos estarían hablando de aprendizaje, o intercomunicación, o transferencia cultural de sonidos. La transferencia cultural es un fenómeno previamente reportado en especial para las vocalizaciones de *M. novangliae* (López, 2014). La interacción sonora de diferentes stocks y especies, podría incrementar la tasa de cambio e incrementar la diversidad de las llamadas (Wilczynski y Ryan, 1999) de Be4.

Efecto Lombard

Uno de los objetivos de este trabajo fue determinar si las diferencias en las llamadas Be4 de *B. edeni*, del norte y sur del GC están asociadas a los niveles de ruido, y por lo tanto, están asociadas al llamado “Efecto Lombard” (Hotchkin y Parks, 2013). Para este fin, se valoraron las características sonoras de la llamada Be4 en frecuencia, duración, gradiente y distribución de energía con diferentes niveles y tipos de ruido ambiental. Encontramos que las llamadas Be4 muestran una gran diversificación y determinamos la existencia de *Efecto Lombard* por enmascaramiento en frecuencia, duración y distribución de energía.

Enmascaramiento de los componentes

Se valoró si la presencia o ausencia de determinado componente de la llamada Be4 estaba relacionado con los diferentes niveles de ruido. Los resultados se centran en los componentes: c1-30 Hz, c2-73 Hz y c5-134 Hz.

Componente 1- 30 Hz

El c1-30 Hz fue detectado a -14 dB del CP (Fig. 41) con una duración de 2s en un 65% de las llamadas en PP, en un 7% de las llamadas en BK, pero en ninguna llamada en BA., y no responde al ruido, ni en duración ni en nivel de energía. Sus características de ser un sonido más largo, de menor frecuencia, y con mayor energía (hasta ser el 35% de la llamada), implican que esta gran inversión energética debe estar relacionada con la importancia de su función. Dado que en la selección sexual, existe una correlación de estas características con los machos de mayor tamaño, que cantan con duraciones mayores y señales más complejas (Gerhardt y Huber, 2002), las vocalizaciones de Be4 en el sur, donde se presenta mayormente este componente, podrían responder a esta función.

A pesar del ruido que presenta la zona norte en las bandas de frecuencia correspondientes a este componente, pudimos determinar que predomina su ausencia ya que las condiciones intermitentes del tipo de ruido III permitirían detectarlo en los lapsos que no había ruido. Descartamos entonces el enmascaramiento de este componente en el norte, pues incluso en el sur que existen llamadas sin este componente (Fig. 41). La recurrencia significativa menor del c1-30 Hz en el norte, en donde se presenta ruido con posibilidades de enmascarar en frecuencia el componente (Fletcher y Manguia 2000; Webb, 1998) nos hacen proponer que puede ser una adaptación a largo plazo, pues muchos hábitats tienen su propio patrón de ruido ambiental, que actúa como presión

selectiva sobre cierto tipo de señales relacionadas con su ambiente (Slabbekoorn, 2004).

Además, este componente apoya la teoría de dos los dos stocks en el Golfo de California, un transeúnte, en el sur con el c1-30 Hz, y otro residente en el norte, sin el componente. Su baja recurrencia en el norte (3%) podría estar asociada al desplazamiento que se ha visto de algunos individuos hacia el norte (Thershy *et al.*, 1992). Una población transeúnte que requiere recorrer mayores distancias, podría beneficiarse de vocalizaciones que presentan mayor propagación debido a sus bajas frecuencias. Mientras que para las poblaciones residentes esta mayor distancia de propagación no representaría una gran ventaja, máxime que por las características del ruido de la zona, este componente tendería a ser enmascarado.

El componente 5 – 134 Hz

La frecuencia y duración de este componente son diferentes entre las 3 localidades, pero no cuando se analizan por localidades norte y sur (Figs. 29 y 30). Los datos intermedios corresponden a BK. Existe una relación inversa entre el ruido y la señal: a mayor ruido menor frecuencia y duración. Este hecho evidencia *Efecto Lombard* para este componente.

Corrimiento en frecuencia de los componentes c3-94 Hz, c4-112 Hz, c5-134 Hz y, c6-150 Hz y c7-164 Hz

A mayor ruido, la frecuencia estos componentes disminuye. Además, las zonas con mayor ruido tienen las menores frecuencias. Si bien este es otro factor que pudiese indicar *Efecto Lombard*, podría estar a su vez influenciado por otros factores además del enmascaramiento por ruido, tales como: transmisión cultural, selección sexual, incremento de la talla (p.e. diferentes subespecies con diferentes tamaños), cambio climático, entre otros (McDonald, 2009).

Variación en longitud del CP y gradiente de energía

PP mostro relación significativa y negativa entre los niveles de ruido y la longitud del CP, de tal manera que a mayor ruido menor era la duración de la llamada ($\rho = -0.35$, $p = 3.1 \times 10^{-4}$), además los datos sugieren una mayor variación de la frecuencia del CP (Tabla IV), y una rango de mayores variaciones en el gradiente de energía del CP (Fig. 33). Sin embargo, en las demás localidades no se encontró ninguna relación

Las variaciones del gradiente de energía reportadas por Vilorio *et al.* (2015), podrían ser consecuencia de cambios de amplitud relacionados con la duración del CP de esta zona, (como la respuesta de *O. orcus* al ruido ambiental reportada por Foote (2004) o bien ser llamadas distintas en ambas zonas. Esta última Hipótesis es apoyada en la discusión del componente c1-30 Hz.

Distribución de energía de la llamada por tipos de ruido

El ruido tipo I. Entre 20-110 Hz, por sus características en frecuencia pudiese estar asociado con tráfico naviero distante y velocidad del viento (Hildebrand, 2009). Fue principalmente encontrado en PP, donde la distribución de la llamada nos indica justamente que distribuye su energía entre todos los componentes, con una ligera tendencia de bajarla. El componente de 30 Hz presente en la zona, representaría una ventaja, pues haría más sonora la llamada justo en la frecuencia que menos ruido tiene.

Tipo de ruido II. Por sus características de baja frecuencia, pudiese estar asociado a la actividad de microsismos en el norte del GC (Servicio Sismológico Nacional). Los datos sugieren que el CP es más corto, sin energía en la baja frecuencia, distribuyéndola en los c6-150 Hz o c7-164 Hz.

Tipo de ruido III. Ruido en las bajas frecuencias entre 20-50 Hz. Este ruido pudiese enmascarar parcialmente al c1-30 Hz. Observamos que la energía de la llamada Be4 se distribuye en los componentes medios. El c2-73 Hz suele ser enmascarado,

observamos que en BK se acorta su duración y la energía va a la banda de 150 *Hz*, donde también se presenta mucha variación en la zona norte.

Tipo de ruido IV. Este ruido se presenta en el norte. Este ruido es intenso y por lo tanto su enmascaramiento es en tiempo en lugar de frecuencia. Los cambios espectrográficos de la duración y del gradiente de energía del componente principal pudieran estar relacionados, sin embargo existen otras hipótesis como la de Vilorio 2015, que podrían explicarlo, por lo que se necesitan más estudios para determinarlo.

Tipo de ruido V. Este ruido es en frecuencias superiores, no enmascara a la llamada directamente por lo que no se encontraron cambios significativos relacionados a este tipo de ruido, aunque se puede asociar los componentes raros encontrados con ruidos de altas frecuencias, se necesitarían estudios que muestren tal relación.

Tipo de ruido VI. Entre 90-200 *Hz*, enmascara a los componentes de alta frecuencia de la llamada. Centra su energía en el filtro 112, disminuyéndola en el filtro 100 *Hz*, además de tener una mayor energía en el filtro de 200 *Hz*.

9. CONCLUSIONES

- Caracterizamos el tipo de ruido en niveles, espectros y tercio de octava de tres localidades en el Golfo de California, dos al norte y una al sur.
- Encontramos gran diversidad de la llamada Be4. Clasificamos sus 7 componentes en conservados y variables.
- Caracterizamos los componentes en frecuencia, gradiente y distribución de estos componentes filtros de un tercio de octava
- Determinamos la existencia de *Efecto Lombard* por enmascaramiento en frecuencia, duración y distribución de energía.
- Contrario a lo que sucede en el sur, el componente de 30 Hz se encuentra raramente en el norte donde hay una banda intensa de ruido, inclusive cuando no hay ruido en esta banda.
- La supresión del componente c1-30 Hz es quizás una adaptación a largo plazo, consecuencia del ruido.
- El componente 73 Hz responde diferente a distintos niveles de ruido, en bajos niveles no hay respuesta, en niveles medios incrementa su energía y en niveles altos vocaliza este componente antes que el CP.
- Los componentes 94 y 112 Hz cambian su frecuencia central en presencia de ruido, Efecto Lombard.

10. RECOMENDACIONES

Ruido

- Analizar por intervalos constantes el ruido para poder comparar las tendencias de los niveles de ruido con los otros trabajos y valorar la tendencia del incremento del ruido en el sur del Golfo de California por actividades antropogénicas.
- Hacer una comparación de los datos del norte del Golfo de California la eventualidad y especialidad de los eventos sísmicos, para analizar su tendencia a largo plazo.

Llamada

- Comparación de las características de la llamada Be4 con alguna llamada del Pacífico para saber si coinciden con las propuestas para Punta Pescadero.
- De acuerdo a la hipótesis de que las características sean diferentes de acuerdo al stock, se propone valorar otras poblaciones para saber si cumplen las características asociadas a componentes raros u otros aun no identificados.

Efecto Lombard

- Para saber si la energía de las llamadas es diferente en Bahía de los Ángeles valorar los eventos no sísmicos para confirmar los datos sobre la ausencia del c1-30 *Hz* y ver si es una característica de la localidad o si está asociada al Efecto Lombard.

- Debido a que no se cuenta con datos de audiogramas para la especie, se puede modelar la membrana tipo M, con base a sus llamadas (Melcón *et al.*, 2012; Whitlow, 1993), cuya frecuencia es mayor a 30 Hz, para determinar su agudeza auditiva, o sensibilidad a diferentes frecuencias, lo que correspondería a realizar filtros Mel (MFCCs), tal como se ha propuesto en otros cetáceos (Ibrahim *et al.*, 2016), para valorar si estos cambios son significativos. Cualquier cambio que no represente ninguna ventaja biológica no tenderá a conservarse.

11. LITERATURA CITADA

Anderson, J. 1879. Anatomical and Zoological Researches: Comprising an Account of Zoological Results of the Two Expeditions to Western Yunnan in 1868 and 1875; and a Monograph of the Two Cetacean Genera, Platanista and Orcella. Bernard Quaritch, London, UK.

Andrew R. K., B. M. Howe, J. A. Mercer. 2002. Ocean ambient sound: Comparing the 1960s with the 1900s for a receiver off the California coast. *Acoustics Research Letters Online*, 3(2), 65-70.

Au, W., M. Hastings. 2008. *Principles of Marine Bioacoustics*. Springer. Nueva York.

Bahoura, M., Y. Simard. 2010. Blue whale calls classification using short-time Fourier and wavelet packet transforms and artificial neural network. *Digit. Signal Process.* 20:1256-63.

Bapineedu, G. 2013. Analysis of Lombard effect and speech and its application in speaker verification for imposter detection (tesis de maestría). International Institute of Information Technology, Hyderabad, India.

Baumgartner, M., S. Van Parijs, F. Wenzel, C. Tremblay, H. Esch, y A. Warde. 2008. Low frequency vocalizations attributed to sei whales (*Balaenoptera borealis*). *J. Acoust. Soc. Am.* 124: 1339-49.

Best, P. 2001. Distribution and population separation of Bryde's whale *B. edeni* off southern Africa. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 220: 277-89.

Brumm, H., S. Zollinger. 2011. The evolution of the Lombard effect: 100 years of psychoacoustic research. *Behav.* 148: 1173-98.

Board, O. 2003. *Ocean Noise and Marine Mammals*. National Academies Press.

Cantor, M., L. G. Shoemaker, R. B. Cabral, C. O. Flores, M. Varga, H. Whitehead. 2015. Multilevel animal societies can emerge from cultural transmission. *Nat. Comms.* 6:8091:1:10. DOI.10.1038/ncomms909.

Castellote, M., C. Clark, M. Lammers. 2012. Acoustic and behavioural changes by fin whales (*B. physalus*) in response to shipping and airgun noise. *Biol. Conserv.* 147: 115-22.

Webb, S. 1998. Broadband seismology and noise under the ocean. *Rev of Geophysics*, 36(1): 105-142.

- Chapman, C. 1973. Field studies of hearing in teleost fishes. *Helgoländer wissenschaftliche Meeresuntersuchungen* 24, 371–390.
- Chapman, C., A. Hawkins. 1973. A field study of hearing in the cod, *Gadus morhua* L., *J. Comp. Physiol.* 85, 147–167.
- Chapman, N., A. Price. 2012. Low frequency deep ocean ambient noise trend in the Northeast Pacific Ocean. *J. Acoust. Soc. Am.* 129: EL161-65.
- Chapman, N., J. Cornish. 1993. Wind dependence of deep ocean ambient noise at low frequencies. *J. Acoust. Soc. Am.* 93, 782–789.
- Charif, R., D. Mellinger, K. Dunsmore. 2002. Estimated source level of fin whale (*Balaenoptera physalus*) vocalizations: Adjustments for surface interference. *Mar. Mammal Sci.* 18: 81-98.
- Cummings, W. Thompson P. 1994. Characteristics and seasons of blue and finback whale sounds along the U.S. West Coast as recorded at SOSUS stations. *J. Acoust. Soc. Am.* 95:2853
- Cummings, W., P. Thompson, S. Ha. 1986. Sounds from Bryde, *Balaenoptera edeni*, and finback, *B. physalus*, whales in the Gulf of California. *Fish. Bull.*, 84, 359-370.
- Committee on Potential Impacts of Ambient Noise in the Ocean on Marine Mammals. 2003. *Ocean Noise and Marine Mammals*. National Academies Press. Washington DC. USA 191 p.
- Corkeron, J., C. Connor. 1999. Why do Baleen whales migrate? *Mar. Mammal Sci.* 15: 1228-45.
- Dallalbashi, Z., F. Taha. 2012. Studying the effect of window type on power spectrum based on Matlab. *Tikrit J. Eng. Sci.* 19: 63-70.
- Dellos, P. 1970. Low-frequency auditory characteristics; species dependence *J. Acoust Soc. Am.* 48: 489-499
- Dizon, A., C. A. Lux, R. G. LeDuc, J. R., M. Henshaw, y R. Jr. Brownell, 1996. An interim phylogenetic analysis of sei and Bryde's whale mitochondrial DNA control region sequences. SC/47/NP23 presented to the IWC Scientific Committee. 12p.
- Dudzinski, K., J. Thomas, J. Gregg. 2009. Communication in marine mammals. En: Perrin, E., Würsig, J., Thesissen, J. *Encyclopedia of Marine Mammals*. Academic Press, California, USA. 260-69 p.

- Dunlop, R., D. Cato, M. Noad. 2010. Your attention please: increasing ambient noise levels elicits a change in communication behaviour in humpback whales (*Megaptera novaeangliae*). *Proc. Biol. Sci.* 277: 2521-29.
- Dunlop, R., C. Douglas, M. Noad. 2014 . Evidence of a Lombard response in migrating humpback whales (*Megaptera novaeangliae*). *J. Acoust. Soc. Am.* 136: 430-37.
- Dunlop, R., M. Noad, D. Stokes. 2013. Source levels of social sounds in migrating Humpback whales (*Megaptera novaeangliae*). *Acoust. Soc. Am.* 134: 706-14.
- Edds, P. 1988. Characteristics of finback (*Balaenoptera physalus*) vocalizations in the St. Lawrence Estuary Canada. *Bioacoustics* 1:131-150.
- Ellison, W., B. Southall, C. Clark, A. Frankel. 2012. A new context-based approach to assess marine mammal behavioral responses to anthropogenic sounds. *Conserv. Biol.* 26: 21-28.
- Erbe, C. 2013. International regulation of underwater noise. *Acoust. Aust.* 41: 12-19.
- Flores-Ramírez, S., J. Urbán-Ramírez, G. Villarreal-Chávez, R. Valles-Jiménez. 1996. Cambios espaciales y temporales de la estructura comunitaria de los cetáceos en Bahía de La Paz, B.C.S., México (1988-1991). *Cienc. Mar.* 22: 151-73.
- Foote, A., R. Osborne, A. Hoelzel. 2004. Whale-call response to masking boat noise. *Nat. Publ. Gr.* 428: 910.
- Fraser F., P. Purves. 1954. Hearing in cetaceans. *Bull. Brit. Mus.* 2(5), 103-116.
- Fristrup, K., L. Hatch, C. Clark. 2003. Variation in Humpback whale (*Megaptera novaeangliae*) song length in relation to low-frequency sound broadcasts. *J. Acoust. Soc. Am.* 113: 3411-24.
- García, D., Hall, D., Plack C. 2010. The effect of stimulus context on pitch representations in the human auditory cortex. *Neuroimagen.* 51:808-16.
- Gloting, H., J. Razik, S. Paris, X. Halkias. 2013. Sparse coding for large scale bioacoustic similarity function improved by multiscale scattering. *Acoust. Soc. Am.* 19: 1-7.
- Guerrero-Ruiz, M., Urbán-Ramírez J., Rojas-Bracho L. 2006. Las ballenas del Golfo de California. Instituto Nacional de Ecología (INE-SEMARNAT). México. 524p.

- Hage, S., T. Jiang, S. Berquist, J. Feng, W. Metzner. 2013. Ambient noise induces independent shifts in call frequency and amplitude within the Lombard effect in echolocating bats. *Proc. Natl. Acad. Sci.* 110: 4063-68.
- Hall, D., D. Barker. 2012. Coding of basic acoustical and perceptual components of sound in human. En: Poeppel, D., Overath, D., Popper, A., Fay R. (Eds.). *The human auditory cortex*. Springer, Nueva York, USA. 33p.
- Harris, F. 1978. On the use of windows for harmonic analysis with the discrete fourier transform. *Proc. Inst. Electr. Electron. Eng.* 66: 172-204.
- Hatch, L. 2004. Males genes and male song: Integrating genetic and acoustic data in defining fin whale, *Balaenoptera physalus*, management units (tesis de maestría). Cornell University. Nueva York, USA. 277p.
- Healy, E., S. Bacon. 2006. Measuring the critical band for speech. *J. Acoust. Soc. Am.* 119: 1083-91.
- Heimlich, S., D. Mellinger, S. Niekirk, C. Fox. 2005. Types , distribution , and seasonal occurrence of sounds attributed to Bryde ' s whales (*Balaenoptera edeni*) recorded in the eastern tropical Pacific , 1999 – 2001. *Acoust. Soc. Am.* 118: 1830-37.
- Hildebrand, J. 2004. Sources of anthropogenic sound in the marine environment. Report to the Policy on Sound and Marine Mammals: *An International Workshop. US Marine Mammal Commission and Joint Nature Conservation Committee*, UK. London, England.
- Hildebrand, J. 2009. Anthropogenic and natural sources of ambient noise in the ocean. *Mar Ecol Prog Ser* 395:5-20.
- Hoelzel, R. 2002. *Marine Mammal Biology: an evolutionary approach*. 2nd ed. Blackwell Publishing. UK 448 p.
- Holt, M., D. Noren, C. Emmons. 2011. Effects of noise levels and call types on the source levels of killer whale calls. *J. Acoust. Soc. Am.* 130: 3100-3106.
- Hotchkin, C., S. Parks. 2013. The Lombard effect and other noise-induced vocal modifications: insight from mammalian communication systems. *Biol. Rev. Camb. Philos. Soc.* 88: 809-24.
- Jefferson, T., J. Schirot. 1997. Distribution of cetaceans in the offshore Gulf of Mexico. *Mamm. Rev.* 27: 27-50.

Jiang, T., R. Walter Metzner, Y. You, S. Li, S. Liu, J. Feng. 2010. Geographical and individual variation in echolocation calls of the intermediate leaf-nosed bat, *Hipposideros larvatus*. *Ethol* 116: 691-703.

Johnson C. 1968. Sound detection threshold in marine mammals, in *Marine Bioacoustic*, edited by W.N. Tavolga. Pergamon New York. Vol 2, pp. 247-260

Jones, M., S. Swartz, S. Leatherwood. 1984. Effects of noise. En: Würsing, B. y, Richardson J. (eds.) Gray whale, *Eschrichtius robustus*. Academic Press. California, USA. 773-80p.

Johnson C., M. McManus, D. Skaar. 1989. Masked tonal hearing threshold in the beluga whale. *J. Acoust Soc. Am.* 85(6), 2651-2654.

Jürgens U. 2009. The neural control of vocalization in mammals: a review. *J. Voice* 23 (1): 1-10. Doi:10.1016/j.jvoice.2007.07.005. PMID 18207362.

Ketten D. 2000. Cetaceans ears, in *Hearing by whales and dolphins*, edited by W.W.L. Ay A. N. Popper, and R.R. Fay Springer, New York, pp 43-108.

Ketten D. 2002. Marine mammal auditory systems. A summary of audiometric and anatomical data and implications for underwater acoustic impacts. *Polarforschung* 72, 79-92.

Kandel, E. 2000. From nerve cells to cognition: the internal cellular representation required for perception and action. En: Kandel, E., Schwartz, H., Jessell, M. (Eds.). *Principles of Neural Science*, 4th Ed. McGraw Hill. New York. 381–410p.

Kastak, D., B. Southall, R. Schusterman, C. Kastak. 2005. Underwater temporary threshold shift in pinnipeds : Effects of noise level and duration. *J. Acoust. Soc. Am.* 118: 3154-63.

Katti, M., P. Warren. 2004. Tits, noise and urban bioacoustics. *Trends Ecol. Evol.* 19: 109-10.

Keiten, D. 1997. Structure and Function in Whale Ears. *Int. J. Anim. Sound its Rec.* 8: 103-35.

Kerosky, S., A. Širović, L. Roche, S. Baumann-Pickering, S. Wiggins, J. Hildebrand. 2012. Bryde's whale seasonal range expansion and increasing presence in the Southern California Bight from 2000 to 2010. *Deep. Res. Part I Oceanogr. Res. Pap.* 65: 125-32.

López-Montalvo, C. 2012. Caracterización de la ecología alimentaria del rorcual de Bryde, *Balaenoptera edeni* (Anderson, 1879), en el Golfo de California, con base en

análisis de isótopos estables de nitrógeno, carbón y ácidos grasos. Tesis de maestría. Instituto del Mar y Limnología, UNAM. 76 p

Lopez, D. 2015. Cambios en la estructura del canto de la ballena jorobada (*Megaptera novaengliae*) en Los Cabos, Baja California Sur, México. Tesis de Maestría. Instituto de Ciencias del Mar y Limnología. UNAM. 97pp.

Matsouka, K., L. Pastene, R. Brownell, T. Kitakado, G. Donovan. 1996. A short review of recent Scientific Committee issues relating to large whales in the North Pacific that might assist in setting priorities for a co-operative series of cruises. Rep. Int. Whal. Commn SC/62/IA15:4-6.

McDonald, M. 2006. An acoustic survey of baleen whales off Great Barrier Island, New Zealand. *New Zeal. J. Mar. Freshw. Res.* 40: 519-29.

McDonald, M., J. Hildebrand, S. Wiggins, D. Ross. 2008. A 50 year comparison of ambient ocean noise near San Clemente Island: a bathymetrically complex coastal region off Southern California. *J. Acoust. Soc. Am.* 124: 1985-92.

Melcón, M., A. Cummins, S. Kerosky, L. Roche, S. Wiggins, J. Hildebrand. 2012. Blue whales respond to anthropogenic noise. *PLoS One* 7: e32681. doi:10.1371/journal.pone.0032681

Mercado, E. III. 1998. Humpack Whale Bioacoustic from form to function.

Mikis-Olds, J. Ocean basin Impact of Ambient Noise on Marine Mammal Detectability, Distribution, and Acoustic Communication –YIP.

Moore, S., J. Clarke. 2002. Potential impact of offshore human activities on gray whales (*Eschrichtius robustus*). *J. Cetacean Res. Manage.* 4(1):19-25

Moore, B. 2012a. *An Introduction to the Psychology of Hearing*. Sixth Edit. London, UK: 235 p.

Moore, B. 2012b. Contributions of von Békésy to psychoacoustics. *Hearing Res.* 293:51-7. Doi 10.1016/j.heares.2012.04.009

Munger, L., S. Wiggins, J. Hildebrand. 2011. North Pacific right whale up-call source levels and propagation distance on the southeastern Bering Sea shelf. *J. Acoust. Soc. Am.* 129: 4047-54.

National Research Council. 2000. *Marine Mammals and Low-Frequency Sound: Progress Since 1994*. Washington DC. USA. The National Academies Press. 39 p.

- Niño-Torres, C., J. Urban-Ramírez, O. Vidal. 2011. Mamíferos Marinos del Golfo de California: Guía ilustrada. Alianza WWF México-Telcel. Publicación Especial No.2. México, D.F., MX. 192p.
- Nowacek, D., L. Thorne, D. Johnston, P. Tyack. 2007. Responses of cetaceans to anthropogenic noise. *Mamm. Rev.* 37: 81-115.
- Olavarrieta-García, T. 2012. Hábitos alimenticios del rorcual tropical (*Balaenoptera edeni*) en el Golfo de California. Tesis Licenciatura, Universidad Autónoma de Baja California Sur. 43 pp.
- Oleson, E., J. Barlow, J. Gordon, R. Shannon, J. Hildebrand. 2003. Low frequency calls of bryde's whales. *Mar. Mammal Sci.* 19: 407-19.
- Oleson, E. M., S. M. Wiggins, J.A. Hildebrand. 2007. Temporal separation of blue whale call types on a southern California feeding ground. *Animal Behaviour.* 74(4): 881– 894.
- Ou, H., W. Au, J. Oswald. 2012. A non-spectrogram-correlation method of automatically detecting minke whale boings. *J. Acoust. Soc. Am.* 132: EL317.
- Pace, F. 2008. Comparison of feature sets for humpback whale song (tesis de maestría). University of Southampton. Southampton UK.
- Parks, S., I. Urazghildiiev, C. Clark. 2009. Variability in ambient noise levels and call parameters of North Atlantic right whales in three habitat areas. *J. Acoust. Soc. Am.* 125: 1230-39.
- Penry, G. 2010. The Biology of South African Bryde's Whales (tesis de doctorado). University of St. Andrews. Escocia.
- Perrin, W., B. Würsig, J. Thesissen. 2009. Encyclopedia of marine mammals. Academic Press. 2nd ed. Nueva York USA. 1355p.
- Pirrota, E., R. Milor, N. Quick, D. Moretti, N. Di Marzio, P. Tyack, I. Boyd, G. Hastie. 2012. Vessel Noise Affects Beaked Whale Behaviour. Results of a Dedicated Acoustic Response Study. *PLoS ONE* 7(8): e42535. doi:10.1371/journal.pone.0042535
- Porter M., L. Henderson. 2014. Modeling ocean noise on the global scale. *Inter-Noise*. Australia.

- Read, J., G. Jones, A. Radford. 2013. Fitness costs as well as benefits are important when considering responses to anthropogenic noise. *Behav. Ecol.* 25: 4-7.
- Reidenberg, J. 2007. Anatomical adaptations of aquatic mammals. *Anat. Rec.* 290: 507-13.
- Rice, A., K. Palmer, J. Tielens, C. Muirhead, C. Clark. 2014. Potential Bryde's whale (*Balaenoptera edeni*) calls recorded in the northern Gulf of Mexico. *J. Acoust. Soc. Am.* 135: 3066-76.
- Richardson, W., C. Greene Jr, C. Malme, D. Thomson. 2013. *Marine mammals and noise*. Academic press. California, USA. 576 p.
- Rolland, R., S. Parks, K. Hunt, M. Castellote, P. Corkeron, D. Nowacek, S. Wasser, S. Kraus. 2012. Evidence that ship noise increases stress in right whales. *Proc. R. Soc. B Biol. Sci.* 279: 2363-68.
- Romero-Vivas, E., L. Vilorio, J. Urbán. 2012. Morphological and gradient power spectrum representations for Bryde's Whale (*Balaenoptera edeni*) geographical call differentiation . 1er Coloquio Nacional de Acústica, ESIME-IMA. México, D.F. 11 de Nov. CD: 8-22p.
- Ross, D. 1993. On ocean underwater ambient noise. *Acoust Bull* 18: 5–88.
- Rosel, P., L. Wilcox. 2014. Genetic evidence reveals a unique lineage of Bryde's whales in the northern Gulf of Mexico. *Endanger. Species Res.* 25: 19-34.
- Rosowski, J. 1994. Outer and middle ears, in *Comparative Hearing: Mammals*, edited by R. R. Fay and A. N. Popper. Ed. Springer, New York. pp. 172–247.
- Ruggero, M., A. Temchin. 2002. The roles of the external, middle, and inner ears in determining the bandwidth of hearing. *Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A.* 99, 13206–13210.
- Salvadeo, C., S. Flores-Ramírez, A. Gómez-Gallardo, C. MacLeod, D. Lluch-Belda, S. Jaume-Schinkel, J. Urban-Ramírez. 2011. Bryde's whale (*Balaenoptera edeni*) in the southwestern Gulf of California: Relationship with ENSO variability and prey availability. *Cienc. Mar.* 37: 215-25.
- Schell, K. 2008. The Influence of Linguistic Content on the Lombard Effect. *J. Speech, Lang. Hear. Res.* 51: 209-21.

- Sasaki, T., M. Nikaido, S. Wada, T. Yamada, Y. Cao, M. Hasegawa, N. Okada. 2006. *Balaenoptera omurai* is a newly discovered baleen whale that represents an ancient evolutionary lineage. *Mol. Phylogenet. Evol.* 41: 40-52.
- Simard, Y., N. Roy, C. Gervaise. 2008. Passive acoustic detection and localization of whales: effects of shipping noise in Saguenay-St. Lawrence Marine Park. *J. Acoust. Soc. Am.* 123: 4109-17.
- Simard, Y., N. Roy, B. Kinda, N. Me. 2012. Shipping noise in whale habitat: Characteristics, sources, budget, and impact on belugas in Saguenay – St. Lawrence Marine Park hub. *J. Acoust. Soc. Am.* 132: 76-89.
- Simon, M., K. Stafford, K. Beedholm, C. Lee, P. Madsen. 2010. Singing behavior of fin whales in the Davis Strait with implications for mating, migration and foraging. *J. Acoust. Soc. Am.* 128: 3200-3210.
- Širović, A., J. A. Hildebrand, S. M. Wiggins, D. Thiele. 2009. Blue and fin whale acoustic presence around Antarctica during 2003 and 2004. *Mar. Mamm. Sci.* 25(1): 125–136.
- Širović, A., H. R. Bassett, S. C. Johnson, S. M. Wiggins, J. A. Hildebrand. 2014. Bryde's whale calls recorded in the Gulf of Mexico. *Mar. Mamm. Sci.* 30: 399–409.
- Slabbekoor H., A. den Boer-Visser. 2006. Cities change the songs of birds. *Curr. Biol.* 16: 2326-31.
- Stachowicz, J., E. Vannoni, B. Pitcher, E. Briefer, E. Geffen, A. McElligott. 2014. Acoustic divergence in the rut vocalizations of Persian and European fallow deer. *J. Zool.* 292: 1-9.
- Stafford, K., S. Moore, M. Spillane, S. Wiggins. 2007. Gray whale calls recorded near Barrow, Alaska, throughout the Winter of 2003 – 04. *Artic.* 60: 167-72.
- Sterbing-D'Angelo, S. 2010. Evolution of sound localization in mammals. *En. Evol. Nerv. Syst.* 3:253-60.
- Tershy, B. 1992. Body size, diet, habitat use, and social behavior of balaenoptera whales in the Gulf of California. *J. Mammal.* 73: 477-86.
- Therrien, A., J. Lyons, R. Balasubramaniam. 2012. Sensory attenuation of self-produced feedback: the Lombard effect revisited. *PLoS One* 7: e49370. doi: 10.1371/journal.pone.0049370
- Uhen, M. 2007. Evolution of marine mammals: back to the sea after 300 million years. *Anat. Rec.* 290: 514-22.

- Urban-Ramirez, J., S. Flores-R. 1996. A note on Bryde's whales (*Balaenoptera edeni*) in the Gulf of California, Mexico. Rep. Int. Whal. Commn 46(SC/47/NP25): 453-457
- Urlick, R. 1996. Principles Underwater Sound. 3rd edición. Mc-Graw Hill. Washigton DC. 417p.
- Valadez R., J. López. 2016. Turismo en México tendrá cifras récord: Sectur. *Milenio*, 20 de enero 2016, 32p.
- Viloria, L., E. Romero-Vivas, J. Hildebrand, S. Kerosky, J. Urban. 2012. Geographic variation of Bryde's whale (*Balaenoptera edeni*) Be4 type call in the Gulf of California. Poster presentado en: *The 20th Biennial Conference on the Biology of Marine Mammals*. Dunedin, Nueva Zelanda. 9-13 Dic
- Viloria, L. 2015. Estructura poblacional del rorcual tropical (*Balaenoptera edeni brydei*) en el Golfo de California con base en técnicas acústicas y moleculares. Tesis Doctorado. Universidad Autónoma de Baja California Sur. 133pp.
- Viloria, L., E. Romero-Vivas, J. Urban. 2015. Calls of Bryde's whale (*Balaenoptera edeni*) recorded in the Gulf of California. *J. Acoust. Soc. Am.* 138(5):2722-5.
- Wada, S., M. Oishi, T. Yamada. 2003. A newly discovered species of living baleen whale. *Nature* 426: 278-81.
- Wade, P., T. Genodette. 1993. Estimates of Cetacean Abundance and Pacific. Rep. Int. Whal. Comm. 43: 477-94.
- Wartzok, D., D. Ketten. 1999. Marine Mammal Sensory Systems. en Biol. Mar. Mamm., 117-75.
- Webb, S. 1998. Broadband seismology and noise under the ocean. *Rev of Geophysics*, 36(1): 105-142.
- Weilgart, L. 2007. The impacts of anthropogenic ocean noise on cetaceans and implications for management. *Can. J. Zool.* 85: 1091-1116.
- Welfare International Fund for Animal. 2008. Ocean Noise : Turn it down. A report on ocean noise pollution.
- Wenz, G. M. 1962. Acoustic ambient noise in the ocean: Spectra and sources. *J Acoust Soc Am* 34:1936–1956.
- Wenz, G. M. 1969. Low-frequency deep-water ambient noise along the Pacific Coast of the United States, U.S. Navy. *J. Underwater Acoust.* 19: 423-444.

- Wieland M., A. Jones, S. Renn. 2009. Changing durations of southern resident killer whales (*Orcinus orca*) discrete calls between two periods spanning 28 yr. *Mar. Mammal Sci.* 26(1):195-201.
- Wilcock, W., K. Stafford, R. Andrew, R. Odom. 2014. Sounds in the ocean at 1-100 Hz. *Ann. Rev. Mar. Sci.* 6: 117-40.
- Wilczynski, W., M. Ryan. 1999. Geographic variation in animal communication systems. *Geogr. Diversif. of Behav. an Evol. Perspect.* 234-61.
- Wiley, R., D. Richards. 1978. An Acoustic Communication Physical Constraints for the Evolution in the Atmosphere : Implications of Animal Vocalizations. *Behav. Ecol. Sociobiol.* 3: 69-94.
- Wiseman, N., K. Stocking, C. Baker. 2011. Seasonal occurrence and distribution of Bryde ' s whales in the Hauraki Gulf , New Zealand. *Mar. Mammal Sci.* 27: 253-67.
- Wysocki, L., S. Amoser, F. Ladich. 2007. Diversity in ambient noise in European freshwater habitats: Noise levels, spectral profiles, and impact on fishes. *J. Acoust. Soc. Am.* 121: 2559.
- Yoshida, H., H. Kato. 1999. Phylogenetic relationships of Bryde's whales in the western North Pacific and adjacent waters inferred from mitochondrial DNA sequences. *Mar. Mammal Sci.* 15: 1269-86.

12. ANEXOS

ANEXO I

Códigos para la toma de muestras

%Generación de espectrograma para las muestras (llamadas) y ruido

```
[z,fs]:audioread('be1.wav');
[y,f,t,p]:spectrogram(z,2500,2000,2500,2000);
surf(t,f,10*log10(p),'LineStyle','none','EdgeColor',[0.945098039215686      0.968627450980392
0.949019607843137]); set(gca, 'CLim', [-130, -65]);
axis xy; colormap(jet); view(0,90); xlabel('Time 's'); axis tight; ylim([0 1000]); colorbar;
```

be1:x((5.5*fs):(9.5*fs)); %inicio de llamada

```
[y,f,t,p]:spectrogram(ke52,2500,2000,2500,2000);
surf(t,f,10*log10(p),'LineStyle','none','EdgeColor',[0.945098039215686      0.968627450980392
0.949019607843137]); set(gca, 'CLim', [-130, -65]);
axis xy; colormap(jet); view(0,90); xlabel('Time 's'); axis tight; set(gca, 'ytick', [-inf inf]);
ylim([0 250]); colorbar;
rbn1:x(1:5*fs); %ruido antes de la llamada
wavwrite(be1,2000,16,'be1');
wavwrite(rbn1,2000,16,'rbn1');
```

%%Determinar presencia/ausencia/enmascaramiento y dB de los componentes

%%respecto a diferencia en dB del CP

```
clear all;
[x,fs]:wavread('be1.wav');
figure;
[y,f,t,p]:spectrogram(x,2500,2000,2500,2000);
surf(t,f,10*log10(p),'LineStyle','none','EdgeColor',[0.945098039215686      0.968627450980392
0.949019607843137]); set(gca, 'CLim', [-130, -65]);
axis xy; colormap(jet);
view(0,90);
C60:10*log10(max(max(p(62:78,:))));
```

```

cc:C60-40;
axis([0 10 0 250 cc 0]);
view(-90,0)
C30:10*log10(max(max(p(35:40,:))))%resolucion 0.8 Hz
C60:10*log10(max(max(p(62:78,:))))
C72:10*log10(max(max(p(88:93,:))))
C95:10*log10(max(max(p(116:121,:))))
C112:10*log10(max(max(p(136:143,:))))
C134:10*log10(max(max(p(165:171,:))))
C150:10*log10(max(max(p(182:194,:))))
C165:10*log10(max(max(p(200:213,:))))

%Duración del CP a tres cortes -32, -24, -18dB y medicion
%C60:-64.1444(pe1);
c60c32:(C60)-(32); c60c24:(C60)-(24); C60c18:(C60)-(18);
[y,f,t,p]:spectrogram(x,2500,2000,2500,2000);
c1:gradient(abs(p));
surf(t,f,10*log10(abs(p)),c1);
axis([0 10 50 70 c60c32 0]);
view(0,0)
xlabel('Tiempo (Segundos)'); ylabel('Frecuencia (Hz)') ; zlabel('dB')
d32:ginput;
axis([0 10 50 70 c60c24 0]);
d24:ginput;
axis([0 10 50 70 C60c18 0]);
d18:ginput;
d32(:,1) %tomar valores
d24(:,1)
d18(:,1)

%Espectro, resolución en frecuencia 0.8 Hz

```

```

clear all; %#-3
[x,fs]:wavread('pe120.wav');
data:detrend(x, 'constant');
nfft:2500;
window:blackmanharris(nfft);
noverlap:round((80/100)*nfft);
[Pxx,F]:pwelch(data,window,noverlap,nfft,fs); %pxx son los valores guardar y f050 foverlapping 50
plot(F, 10*log10(Pxx), 'k');
xlabel('frecuencia (Hz)');
ylabel('Amplitud(dB)');
xlim([0, 250]);
title('Espectro pe120');
c30:max(Pxx(35:40)); Hz30:find(Pxx::c30)*.8
c60:max(Pxx(62:78)); Hz60:find(Pxx::c60)*.8
c72:max(Pxx(88:93)); Hz72:find(Pxx::c72)*.8
c95:max(Pxx(116:121)); Hz95:find(Pxx::c95)*.8
c112:max(Pxx(136:143)); Hz112:find(Pxx::c112)*.8
c134:max(Pxx(165:171)); Hz134:find(Pxx::c134)*.8
c150:max(Pxx(182:194)); Hz150:find(Pxx::c150)*.8
c165:max(Pxx(200:213)); Hz165:find(Pxx::c165)*.8

```

%Obtención de la energía en tercio de octava de los componentes. Cargar la lista de llamadas (Ne_name), ruido (Ne_noise_name) y tabla de inicio y final en duración de los componetes (Ne_if) obtenidos bajo observaciones en Audacity.

```

[renglones,columnas]:size(Ne_name);
raiz:'C:\Users\Socrates\Desktop\paty\bahia_angeles\';
i:1;
for i:1:renglones
    i30:Ne_if{i,1}; %{renglon, columna}
    f30:Ne_if{i,2};
    i59:Ne_if{i,3};%1297;
    f59:Ne_if{i,4};%6550;
    i73:Ne_if{i,5};

```

```

f73:Ne_if{i,6};
i94:Ne_if{i,7};
f94:Ne_if{i,8};
i112:Ne_if{i,9};
f112:Ne_if{i,10};
i134:Ne_if{i,11};
f134:Ne_if{i,12};
i150:Ne_if{i,13};
f150:Ne_if{i,14};
i167:Ne_if{i,15};
f167:Ne_if{i,16};

%% Componente 30
TF : isempty(Ne_if{i,1})
if TF :: 1
    Ne_ener_filtro30{i,1}:[];
    Ne_ener_fruido30{i,1}:[];

else
    archivo_llamada:strcat(raiz,Ne_name{i,1},'.wav') %Ne_name{x,1}
    [x,fs]:wavread(archivo_llamada); %traer llamada
    corte30:x(i30:f30); %valor a cortar del componente presente
    [b,a]:ellip(6, 3, 40, 250/1000); %hacer un pasabanda a 250Hz
    data:filtfilt(b,a,corte30);%filtrar el componente
    t:length(data)/fs; %revisar si data y ne1_c59 es lo mismo, [P,F] :
    FILTBANK(X,Fs,T,'extended') covers the 'extended' audio range:
    [p,f] : filtbank(data,fs,t,'extended');
    Ne_ener_filtro30{i,1}:p;%ENERGIA EN LOS TERCIO DE OCTAVA DESPUES DEL
    FILTRO LLAMADA
    %%%%%%%%%%%%%%
    %OCTAVAS RUIDO
    %#-1
    ri: 1;

```

```

rf: (f30-i30)+ ri %rf fragmento de ruido +1
archivo_ruido:strcat(raiz,Ne_noise_name{i,1},'.wav') %Ne_name{x,1}
[r,fs]:wavread(archivo_ruido);
cr30 : r(ri:rf);
fr30:filtfilt(b,a,cr30);
%t2:length(fruido)/fs; %hace falta revisar si se va a tomar un estandar en longitud para la
llmada NO
[pr,f] : filtbank(fr30,fs,t,'extended');
Ne_ener_fruido30{i,1}:pr; %ENERGIA EN LOS TERCIO DE OCTAVA DESPUES DEL
FILTRO RUIDO
end

%% Componente 59
TF : isempty(Ne_if{i,3})
if TF :: 1
    Ne_ener_filtro59{i,1}:[];
    Ne_ener_fruido59{i,1}:[];

else
    archivo_llamada:strcat(raiz,Ne_name{i,1},'.wav') %Ne_name{x,1}
    [x,fs]:wavread(archivo_llamada); %traer llamada
    corte59:x(i59:f59); %valor a cortar del componente presente
    [b,a]:ellip(6, 3, 40, 250/1000); %hacer un pasabanda a 250Hz
    data:filtfilt(b,a,corte59);%filtrar el componente
    t:length(data)/fs; %revisar si data y ne1_c59 es lo mismo, [P,F] :
    FILTBANK(X,Fs,T,'extended') covers the 'extended' audio range:
    [p,f] : filtbank(data,fs,t,'extended');
    Ne_ener_filtro59{i,1}:p;%ENERGIA EN LOS TERCIO DE OCTAVA DESPUES DEL
    FILTRO LLAMADA
    %%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
    %OCTAVAS RUIDO
    %#-1
    ri: 1;
    rf: (f59-i59)+ ri

```

```

    archivo_ruido:strcat(raiz,Ne_noise_name{i,1},'.wav') %Ne_name{x,1}
    [r,fs]:wavread(archivo_ruido);
    cr59 : r(ri:rf);
    fr59:filtfilt(b,a,cr59);
    %t2:length(fruido)/fs; %hace falta revisar si se va a tomar un estandar en longitud para la
llamada NO
    [pr,f] : filtbank(fr59,fs,t,'extended');
    Ne_ener_fruido59{i,1}:pr; %ENERGIA EN LOS TERCIO DE OCTAVA DESPUES DEL
FILTRO RUIDO
    end
%% Componente 73
    TF : isempty(Ne_if{i,5})
    if TF :: 1
        Ne_ener_filtro73{i,1}:[];
        Ne_ener_fruido73{i,1}:[];

    else
        archivo_llamada:strcat(raiz,Ne_name{i,1},'.wav') %Ne_name{x,1}
        [x,fs]:wavread(archivo_llamada); %traer llamada
        corte73:x(i73:f73); %valor a cortar del componente presente
        [b,a]:ellip(6, 3, 40, 250/1000); %hacer un pasabanda a 250Hz
        data:filtfilt(b,a,corte73);%filtrar el componente
        t:length(data)/fs; %revisar si data y ne1_c59 es lo mismo, [P,F] :
FILTBRANK(X,Fs,T,'extended') covers the 'extended' audio range:
        [p,f] : filtbank(data,fs,t,'extended');
        Ne_ener_filtro73{i,1}:p;%ENERGIA EN LOS TERCIO DE OCTAVA DESPUES DEL
FILTRO LLAMADA
        %%%%%%%%%%%%%%%
        %OCTAVAS RUIDO
        %#-1
        ri: 1;
        rf: (f73-i73)+ ri
        archivo_ruido:strcat(raiz,Ne_noise_name{i,1},'.wav') %Ne_name{x,1}
        [r,fs]:wavread(archivo_ruido);

```

```

cr743: r(ri:rf);
fr73:filtfilt(b,a,cr73);
%t2:length(fruido)/fs; %hace falta revisar si se va a tomar un estandar en longitud para la
llamada NO
[pr,f] : filtbank(fr73,fs,t,'extended');
Ne_ener_fruido73{i,1}:pr; %ENERGIA EN LOS TERCIO DE OCTAVA DESPUES DEL
FILTRO RUIDO
end
%% Componente 94
TF : isempty(Ne_if{i,7})
if TF :: 1
    Ne_ener_filtro94{i,1}:[];
    Ne_ener_fruido94{i,1}:[];
else
    archivo_llamada:strcat(raiz,Ne_name{i,1},'.wav') %Ne_name{x,1}
    [x,fs]:wavread(archivo_llamada); %traer llamada
    corte94:x(i94:f94); %valor a cortar del componente presente
    [b,a]:ellip(6, 3, 40, 250/1000); %hacer un pasabanda a 250Hz
    data:filtfilt(b,a,corte94);%filtrar el componente
    t:length(data)/fs; %revisar si data y ne1_c59 es lo mismo, [P,F] :
    FILTBANK(X,Fs,T,'extended') covers the 'extended' audio range:
    [p,f] : filtbank(data,fs,t,'extended');
    Ne_ener_filtro94{i,1}:p;%ENERGIA EN LOS TERCIO DE OCTAVA DESPUES DEL
    FILTRO LLAMADA
    %%%%%%%%%%%%%%
    %OCTAVAS RUIDO
    %#-1
    ri: 1;
    rf: (f94-i94)+ ri
    archivo_ruido:strcat(raiz,Ne_noise_name{i,1},'.wav') %Ne_name{x,1}
    [r,fs]:wavread(archivo_ruido);
    cr94 : r(ri:rf);
    fr94:filtfilt(b,a,cr94);

```

```

        %t2:length(fruido)/fs; %hace falta revisar si se va a tomar un estandar en longitud para la
llmada NO
        [pr,f] : filtbank(fr94,fs,t,'extended');
        Ne_ener_fruido94{i,1}:pr; %ENERGIA EN LOS TERCIO DE OCTAVA DESPUES DEL
FILTRO RUIDO
    end
%% Componente 112
TF : isempty(Ne_if{i,9})
if TF :: 1
    Ne_ener_filtro112{i,1}:[];
    Ne_ener_fruido112{i,1}:[];

else
    archivo_llamada:strcat(raiz,Ne_name{i,1},'.wav') %Ne_name{x,1}
    [x,fs]:wavread(archivo_llamada); %traer llamada
    corte112:x(i112:f112); %valor a cortar del componente presente
    [b,a]:ellip(6, 3, 40, 250/1000); %hacer un pasabanda a 250Hz
    data:filtfilt(b,a,corte112);%filtrar el componente
    t:length(data)/fs; %revisar si data y ne1_c59 es lo mismo, [P,F] :
FILTBANK(X,Fs,T,'extended') covers the 'extended' audio range:
    [p,f] : filtbank(data,fs,t,'extended');
    Ne_ener_filtro112{i,1}:p;%ENERGIA EN LOS TERCIO DE OCTAVA DESPUES DEL
FILTRO LLAMADA
    %%%%%%%%%%
    %OCTAVAS RUIDO
    %#-1
    ri: 1;
    rf: (f112-i112)+ ri %rf fragmento de ruido +1
    archivo_ruido:strcat(raiz,Ne_noise_name{i,1},'.wav') %Ne_name{x,1}
    [r,fs]:wavread(archivo_ruido);
    cr112 : r(ri:rf);
    fr112:filtfilt(b,a,cr112);
        %t2:length(fruido)/fs; %hace falta revisar si se va a tomar un estandar en longitud para la
llmada NO

```

```

[pr,f] : filtbank(fr112,fs,t,'extended');
Ne_ener_fruido112{i,1}:pr; %ENERGIA EN LOS TERCIO DE OCTAVA DESPUES DEL
FILTRO RUIDO
end

%% Componente 134
TF : isempty(Ne_if{i,11})
if TF :: 1
    Ne_ener_filtro134{i,1}:[];
    Ne_ener_fruido134{i,1}:[];

else
    archivo_llamada:strcat(raiz,Ne_name{i,1},'.wav') %Ne_name{x,1}
    [x,fs]:wavread(archivo_llamada); %traer llamada
    corte134:x(i134:f134); %valor a cortar del componente presente
    [b,a]:ellip(6, 3, 40, 250/1000); %hacer un pasabanda a 250Hz
    data:filtfilt(b,a,corte134);%filtrar el componente
    t:length(data)/fs; %revisar si data y ne1_c59 es lo mismo, [P,F] :
    FILTBANK(X,Fs,T,'extended') covers the 'extended' audio range:
    [p,f] : filtbank(data,fs,t,'extended');
    Ne_ener_filtro134{i,1}:p;%ENERGIA EN LOS TERCIO DE OCTAVA DESPUES DEL
    FILTRO LLAMADA
    %%%%%%%%%%
    %OCTAVAS RUIDO
    %#-1
    ri: 1;
    rf: (f134-i134)+ ri %rf fragmento de ruido +1
    archivo_ruido:strcat(raiz,Ne_noise_name{i,1},'.wav') %Ne_name{x,1}
    [r,fs]:wavread(archivo_ruido);
    cr134 : r(ri:rf);
    fr134:filtfilt(b,a,cr134);
    %t2:length(fruido)/fs; %hace falta revisar si se va a tomar un estandar en longitud para la
    llamada NO
    [pr,f] : filtbank(fr134,fs,t,'extended');

```

```

        Ne_ener_fruido134{i,1}:pr; %ENERGIA EN LOS TERCIO DE OCTAVA DESPUES DEL
FILTRO RUIDO
    end

    %% Componente 150
    TF : isempty(Ne_if{i,13})
    if TF :: 1
        Ne_ener_filtro150{i,1}:[];
        Ne_ener_fruido150{i,1}:[];

    else
        archivo_llamada:strcat(raiz,Ne_name{i,1},'.wav') %Ne_name{x,1}
        [x,fs]:wavread(archivo_llamada); %traer llamada
        corte150:x(i150:f150); %valor a cortar del componente presente
        [b,a]:ellip(6, 3, 40, 250/1000); %hacer un pasabanda a 250Hz
        data:filtfilt(b,a,corte150);%filtrar el componente
        t:length(data)/fs; %revisar si data y ne1_c59 es lo mismo, [P,F] :
FILTBANK(X,Fs,T,'extended') covers the 'extended' audio range:
        [p,f] : filtbank(data,fs,t,'extended');
        Ne_ener_filtro150{i,1}:p;%ENERGIA EN LOS TERCIO DE OCTAVA DESPUES DEL
FILTRO LLAMADA
        %%%%%%%%%%%%%%%
        %OCTAVAS RUIDO
        %#-1
        ri: 1;
        rf: (f150-i150)+ ri %rf fragmento de ruido +1
        archivo_ruido:strcat(raiz,Ne_noise_name{i,1},'.wav') %Ne_name{x,1}
        [r,fs]:wavread(archivo_ruido);
        cr150 : r(ri:rf);
        fr150:filtfilt(b,a,cr150);
        %t2:length(fruido)/fs; %hace falta revisar si se va a tomar un estandar en longitud para la
llmada NO
        [pr,f] : filtbank(fr150,fs,t,'extended');

```

```

        Ne_ener_fruido150{i,1}:pr; %ENERGIA EN LOS TERCIO DE OCTAVA DESPUES DEL
FILTRO RUIDO
    end

    %% Componente 167
    TF : isempty(Ne_if{i,15})
    if TF :: 1
        Ne_ener_filtro167{i,1}:[];
        Ne_ener_fruido167{i,1}:[];

    else
        archivo_llamada:strcat(raiz,Ne_name{i,1},'.wav') %Ne_name{x,1}
        [x,fs]:wavread(archivo_llamada); %traer llamada
        corte167:x(i167:f167); %valor a cortar del componente presente
        [b,a]:ellip(6, 3, 40, 250/1000); %hacer un pasabanda a 250Hz
        data:filtfilt(b,a,corte167);%filtrar el componente
        t:length(data)/fs; %revisar si data y ne1_c59 es lo mismo, [P,F] :
        FILTBANK(X,Fs,T,'extended') covers the 'extended' audio range:
        [p,f] : filtbank(data,fs,t,'extended');
        Ne_ener_filtro167{i,1}:p;%ENERGIA EN LOS TERCIO DE OCTAVA DESPUES DEL
FILTRO LLAMADA
        %%%%%%%%%%%%%%
        %OCTAVAS RUIDO
        %#-1
        ri: 1;
        rf: (f167-i167)+ ri %rf fragmento de ruido +1
        archivo_ruido:strcat(raiz,Ne_noise_name{i,1},'.wav') %Ne_name{x,1}
        [r,fs]:wavread(archivo_ruido);
        cr167 : r(ri:rf);
        fr167:filtfilt(b,a,cr167);
        %t2:length(fruido)/fs; %hace falta revisar si se va a tomar un estandar en longitud para la
llmada NO
        [pr,f] : filtbank(fr167,fs,t,'extended');

```

```

        Ne_ener_fruido167{i,1}:pr; %ENERGIA EN LOS TERCIO DE OCTAVA DESPUES DEL
        FILTRO RUIDO

```

```

    end

```

```

end

```

```

%Generación de valores de tabla

```

```

[renglones,columnas]:size(Ne_ener_filtro30);

```

```

% raiz:'C:\Users\Socrates\Desktop\paty\bahia_angeles\';

```

```

i:1;

```

```

for i:1:renglones

```

```

%% Componente 30

```

```

TF : isempty(Ne_ener_filtro30{i,1});

```

```

    if TF :: 1

```

```

        Ne_8va_30{i,1}:[];

```

```

        Ne_8va_30{i,2}:[];

```

```

        Ne_8va_30{i,3}:[];

```

```

        Ne_8va_30{i,4}:[];

```

```

        Ne_8va_30{i,5}:[];

```

```

        Ne_8va_30{i,6}:[];

```

```

    else

```

```

        Ne_8va_30{i,1}:Ne_ener_fruido30{i,1}(1);

```

```

        Ne_8va_30{i,2}:Ne_ener_fruido30{i,1}(2);

```

```

        Ne_8va_30{i,3}:Ne_ener_fruido30{i,1}(3);

```

```

        Ne_8va_30{i,4}:Ne_ener_filtro30{i,1}(1);

```

```

        Ne_8va_30{i,5}:Ne_ener_filtro30{i,1}(2);

```

```

        Ne_8va_30{i,6}:Ne_ener_filtro30{i,1}(3);

```

```

    end

```

```

%% Componente 59

```

```

TF : isempty(Ne_ener_filtro59{i,1});

```

```

    if TF :: 1

```

```

    Ne_8va_59{i,1}:[];
    Ne_8va_59{i,2}:[];
    Ne_8va_59{i,3}:[];
    Ne_8va_59{i,4}:[];

else
    Ne_8va_59{i,1}:Ne_ener_fruido59{i,1}(4);
    Ne_8va_59{i,2}:Ne_ener_fruido59{i,1}(5);
    Ne_8va_59{i,3}:Ne_ener_filtro59{i,1}(4);
    Ne_8va_59{i,4}:Ne_ener_filtro59{i,1}(5);
end

%% Componente 73
TF : isempty(Ne_ener_filtro73{i,1});
if TF :: 1
    Ne_8va_73{i,1}:[];
    Ne_8va_73{i,2}:[];
    Ne_8va_73{i,3}:[];
    Ne_8va_73{i,4}:[];
else
    Ne_8va_73{i,1}:Ne_ener_fruido73{i,1}(5);
    Ne_8va_73{i,2}:Ne_ener_fruido73{i,1}(6);
    Ne_8va_73{i,3}:Ne_ener_filtro73{i,1}(5);
    Ne_8va_73{i,4}:Ne_ener_filtro73{i,1}(6);
end

%% Componente 94
TF : isempty(Ne_ener_filtro94{i,1});
if TF :: 1
    Ne_8va_94{i,1}:[];
    Ne_8va_94{i,2}:[];
    Ne_8va_94{i,3}:[];
    Ne_8va_94{i,4}:[];

```

```
else
    Ne_8va_94{i,1}:Ne_ener_fruido94{i,1}(6);
    Ne_8va_94{i,2}:Ne_ener_fruido94{i,1}(7);
    Ne_8va_94{i,3}:Ne_ener_filtro94{i,1}(6);
    Ne_8va_94{i,4}:Ne_ener_filtro94{i,1}(7);
end

%% Componente 112
TF : isempty(Ne_ener_filtro112{i,1});
if TF :: 1
    Ne_8va_112{i,1}:[];
    Ne_8va_112{i,2}:[];
    Ne_8va_112{i,3}:[];
    Ne_8va_112{i,4}:[];

else
    Ne_8va_112{i,1}:Ne_ener_fruido112{i,1}(7);
    Ne_8va_112{i,2}:Ne_ener_fruido112{i,1}(8);
    Ne_8va_112{i,3}:Ne_ener_filtro112{i,1}(7);
    Ne_8va_112{i,4}:Ne_ener_filtro112{i,1}(8);
end

%% Componente 134
TF : isempty(Ne_ener_filtro134{i,1});
if TF :: 1
    Ne_8va_134{i,1}:[];
    Ne_8va_134{i,2}:[];

else
    Ne_8va_134{i,1}:Ne_ener_fruido134{i,1}(8);
    Ne_8va_134{i,2}:Ne_ener_filtro134{i,1}(8);
```

```
end
    %% Componente 150
TF : isempty(Ne_ener_filtro150{i,1});
if TF :: 1
    Ne_8va_150{i,1}:[];
    Ne_8va_150{i,2}:[];
else
    Ne_8va_150{i,1}:Ne_ener_fruido150{i,1}(9);
    Ne_8va_150{i,2}:Ne_ener_filtro150{i,1}(9);

end

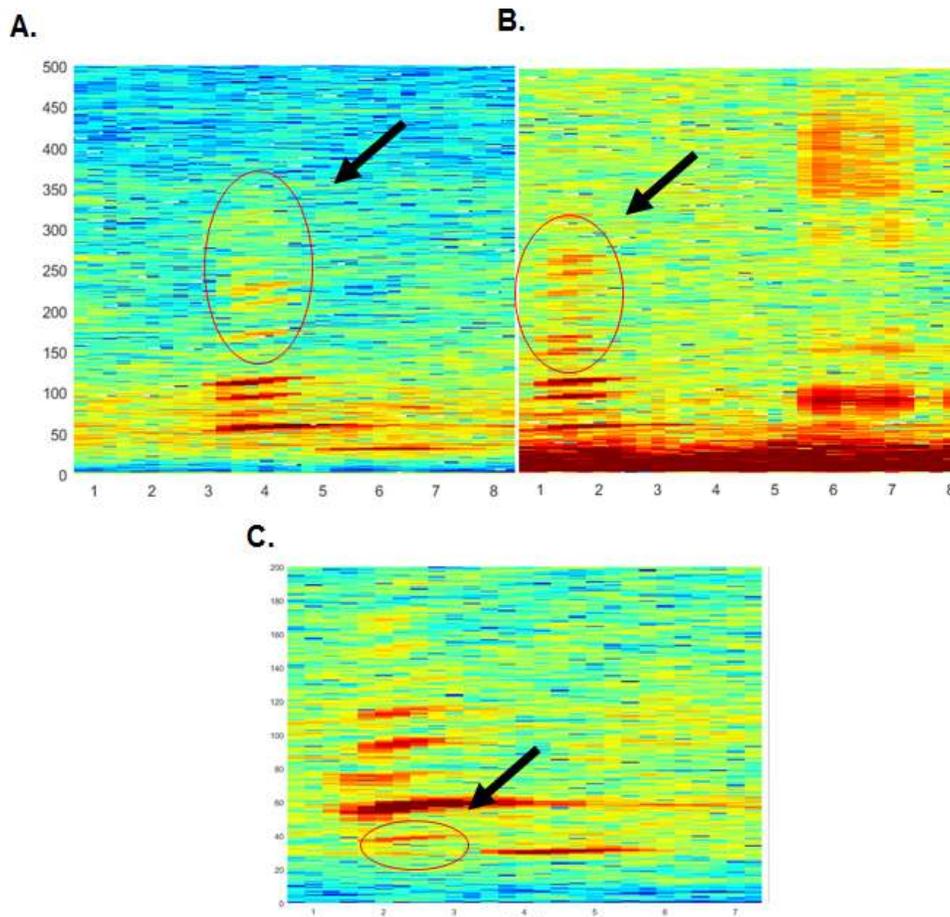
    %% Componente 167
TF : isempty(Ne_ener_filtro167{i,1});
if TF :: 1
    Ne_8va_167{i,1}:[];
    Ne_8va_167{i,2}:[];
    Ne_8va_167{i,3}:[];
    Ne_8va_167{i,4}:[];
else
    Ne_8va_167{i,1}:Ne_ener_fruido167{i,1}(9);
    Ne_8va_167{i,2}:Ne_ener_fruido167{i,1}(10);
    Ne_8va_167{i,3}:Ne_ener_filtro167{i,1}(9);
    Ne_8va_167{i,4}:Ne_ener_filtro167{i,1}(10);

end
end
```

ANEXO II

Llamadas de Be4 con otros componentes

Como se puede apreciar en el espectrograma se encontraron otros componentes “raros” en la llamada Be4. El espectrograma A se encontró en Punta Pescadero, se graficó de 0-500 Hz para valorar la relación de estos componentes con ruido a altas frecuencias. Esta llamada tiene un tipo de ruido V, y sus tres componentes se encuentran aproximadamente a los 200, 230, 270 y 300 Hz. La figura B, fue en otro archivo, por lo tanto se considera otra temporada y se aprecian componentes en las mismas frecuencias que el anterior, encontramos un ruido focal en esta llamada después de su vocalización. Por último en la figura C se muestra un componente a los 40 Hz observados en Bahía Kino en tres de una ocasión, en un mismo archivo de grabaciones.



ANEXO III

Porcentaje en la presencia de los componentes (representación en porcentajes de la tabla II)

