

**UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO USFQ**

**Colegio de Ciencias Biológicas y Ambientales**

**El impacto de terremotos al comportamiento acústico de Ballenas  
Jorobadas, *Megaptera novaeangliae*, en la Costa Ecuatoriana  
Proyecto de investigación**

**Ana Paula Suárez Buitrón**

**Biología**

Trabajo de titulación presentado como requisito  
para la obtención del título de Licenciada Bióloga con especialización en Ecología  
Marina

Quito, 19 de mayo de 2017

UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO USFQ  
COLEGIO COCIBA

**HOJA DE CALIFICACIÓN  
DE TRABAJO DE TITULACIÓN**

**El impacto de terremotos al comportamiento acústico de Ballenas  
Jorobadas, *Megaptera novaeangliae*, en la Costa Ecuatoriana**

**Ana Paula Suárez Buitrón**

Calificación:

\_\_\_\_\_

Nombre del profesor, Título académico

\_\_\_\_\_, \_\_\_\_\_

Firma del profesor

\_\_\_\_\_

Quito, 19 de mayo de 2017

## Derechos de Autor

Por medio del presente documento certifico que he leído todas las Políticas y Manuales de la Universidad San Francisco de Quito USFQ, incluyendo la Política de Propiedad Intelectual USFQ, y estoy de acuerdo con su contenido, por lo que los derechos de propiedad intelectual del presente trabajo quedan sujetos a lo dispuesto en esas Políticas.

Asimismo, autorizo a la USFQ para que realice la digitalización y publicación de este trabajo en el repositorio virtual, de conformidad a lo dispuesto en el Art. 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior.

Firma del estudiante: \_\_\_\_\_

Nombres y apellidos: Ana Paula Suárez Buitrón

Código: 00117177

Cédula de Identidad: 1722214812

Lugar y fecha: Quito, 19 de mayo de 2017

## RESUMEN

Las ballenas Jorobadas (*Megaptera novaeangliae*), que visitan la costa Ecuatoriana durante los meses de Julio a Octubre para reproducirse, tienen una característica muy distintiva, sus cantos. Es decir sonidos repetitivos que realizan para comunicarse, reproducirse y mantener jerarquía entre los individuos. Son realizados únicamente por machos. Estos mamíferos son además muy sensibles a sonidos como sonares, ruido de embarcaciones o explosiones en las profundidades marinas, lo que refleja en comportamientos de huida. El 10 de Julio de 2017 se sintió en Muisne, Esmeraldas un terremoto de magnitud 6,2 mientras se realizaban tomas de muestras de canciones, por lo que se realizó un estudio de los cambios estructurales de los cantos *antes, después inmediato y después lejano* del terremoto. Para este análisis, se realizó un estudio de la comunicación medido por las unidades significativas encontradas en un minuto de canción y un análisis estadístico para observar cambios en la frecuencia pico de los cantos además de analizar las repeticiones de cada unidad. Se encontraron diferencias significativas en cuanto a la comunicación y variaciones en las repeticiones de las unidades y unidades nuevas después del terremoto. La frecuencia pico aumentó al comparar entre parámetros. Los resultados obtenidos sugieren que ciertas unidades se relacionan con estrés o caos y el aumento en las frecuencias de los cantos al igual que las repeticiones posiblemente ayudan a que la comunicación no se pierda tras el aumento del ruido ambiental.

## ABSTRACT

Humpback whales (*Megaptera novaeangliae*), visiting the coast of Ecuador from July to October to reproduce, have a very distinctive feature, their songs. These are repetitive sounds used for communication, reproduction and maintaining hierarchy among individuals. Only males perform appear to sing. These mammals are also very sensitive to sounds like sonar, boat noise or explosions in the deep sea, which results in avoidance or flight behavior. On July 10th 2017, a magnitude 6.2 earthquake occurred in Muisne, Esmeraldas, while humpback whale sounds were recorded nearby the epicenter. In order to analyze changes in song patterns a study of the structural changes of the songs *before, immediately after* and after the earthquake was conducted. For this analysis, a study of the communication measured by the significant units found in a minute of song and a statistical analysis was performed to observe changes in the peak frequency of the songs as well as to analyze the repetitions of each unit. Significant differences were found in terms of communication. Repetitions of units also varied, new units appeared after the earthquake and peak frequency increased when comparing between parameters. The results suggest that certain units can be associated to stress or chaos and the frequencies of the songs as well as the repetitions may help to preserve the communication while environmental noise is increasing.

## TABLA DE CONTENIDO

INTRODUCCION.....	9
OBJETIVOS .....	13
MÉTODOS.....	13
Área de Estudio.....	13
Grabaciones de cantos en el campo .....	15
Análisis .....	16
RESULTADOS.....	18
Caracterización del Canto.....	18
Comunicación .....	19
Análisis Estadístico.....	20
DISCUSIÓN .....	22
CONCLUSIONES .....	25
LITERATURA CITADA .....	26

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1.</b> Caracterización de los cantos.....	18
<b>Tabla 2.</b> Unidades con cambios significativos encontrados con el análisis ANOVA .....	20
<b>Tabla 3.</b> Unidades con cambios significativos al realizar Prueba T. ....	21
<b>Tabla 4.</b> Unidades que aparecen en las canciones. N indica el numero de repeticiones de la unidad en el total de canciones analizadas. ....	21
<b>Tabla 5.</b> Pruebas T aplicadas a las unidades con distribución normal.....	22
<b>Tabla 6.</b> Unidades que aparecen en las canciones.....	22

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Mapa de área de estudio (izquierda), a la derecha, interacción de placas en el territorio Ecuatoriano. (Extraído de Trenkamp, et.al., 2002).....	14
<b>Figura 2.</b> Mapa de distancias de zonas epicentro y Caimito. Distancia entre caimito y Atacames (Derecha) Caimito y Muisne (Izquierda) .....	16
<b>Figura 3.</b> Comunicación <i>antes</i> del terremoto. 17,07 U/min.....	25
<b>Figura 4.</b> Comunicación <i>inmediato después</i> del terremoto. 31,04 U/min. ....	25
<b>Figura 5.</b> Comunicación <i>después lejano</i> . 30,8 U/min. ....	26

## INTRODUCCION

Las ballenas jorobadas (*Megaptera novaeangliae*) de la familia Balaenopteridae, se distribuyen a lo largo de la plataforma continental en aguas pelágicas y realizan extensas migraciones transoceánicas durante su vida. (Folkens, 2002). Esta distribución y presencia, está asociada a asuntos sociales (Ersts y Rosenbaum, 2003), requerimientos biológicos y parámetros ambientales (Craig and Herman, 2000). Las ballenas jorobadas realizan migraciones costeras entre zonas polares durante el verano, en donde se encuentran las zonas de alimentación y migran a medida que las temperaturas descienden hacia aguas tropicales en las cuales se reproducen y tienen a sus crías. (Pough, et al., 1999; Medrano, 2015)

Entre las principales características de esta carismática especie, están los variados sonidos que producen por un período de 7 a 30 minutos (Medrano, 2015) repitiendo las mismas series, a lo cual se denomina canto. Cada repetición de serie es conocido como canción que se puede repetir en sesiones llegando a durar desde algunos minutos hasta varias horas (Medrano, 2015)

Estas secuencias tienen una estructura jerárquica, es decir se presentan como unidades-frases-temas y el conjunto de estos es una canción (Medrano, 2015). Las canciones son interpretadas únicamente por los machos y son principalmente realizadas en zonas de reproducción, en donde posiblemente actúan como un anuncio para las hembras, o separación territorial en las zonas de cría (Winn, 1978; Tyack, 1981). También se puede considerar la canción un sonar para obtener información del medio marino y reconocer a otros individuos. (Mercado y Frazer, 2001). Se cree además que el canto juega un papel esencial en el éxito reproductivo de los machos. (Tyack y Clark, 2000; Darling y Berube, 2001).

El canto de las ballenas ocurre durante la temporada de reproducción pero también sucede durante las migraciones a las áreas de cría y en las áreas de alimentación de verano (Payne y McVay, 1971; Winn y Winn, 1978). Estos son transmitidos culturalmente entre individuos y poblaciones dentro de una cuenca oceánica. (Garland, et. al., 2011, 2012, 2013; Payne y Payne, 1985).

Un tema de discusión es si el objetivo de los cantos es únicamente para atraer hembras (Medrano et al., 1994) o una herramienta de jerarquización (Darling y Bérubé, 2001). Las ballenas jorobadas mantienen un sistema de comunicación muy complejo en el cual producen señales de baja frecuencia y emisiones sonoras repetitivas y de corta o larga duración que están estrechamente relacionadas al comportamiento reproductivo y de cortejo (Payne y McVay, 1971; Payne et al. 1987). En caso de presencia de sonidos sociales, estos se traducen como un comportamiento agresivo, de comunicación o como herramienta para la orientación y navegación. (Payne y McVay, 1971; Winn y Winn, 1978; Capella y Flórez-González, 1999; Ávila, 2000).

Estos cantos se exponen a profundidades de aproximadamente 30 metros y con frecuencias que varían entre 0.1 a 6 kHz. (Medrano, 2015) Se considera que las canciones se mantienen uniformes entre individuos en cierto período (e.g. época de cría) y cambian durante la migración, alterando la estructura del canto de acuerdo a la diferenciación por los destinos de migración (Payne y Gui-Nee, 1983; Payne y McVay, 1971; Medrano, 2015) y es posible también que algunos cambios nunca se transmitan (Smith y Aguilar, 2009). Las canciones están en un constante estado de cambio. Mientras progresa la época de reproducción, el canto en una población cambia a medida que se introducen

nuevos temas (Winn, et. al., 1981; Payne, et. al., 1983; Payne y Payne, 1985; Eriksen, et. Al. 2005). Existen varios tipos de cantos alrededor de los cuales las ballenas jorobadas construyen sus canciones y a su vez existen variaciones en cada individuo (Payne, Scott 1971).

El norte de la costa Ecuatoriana es uno de los varios lugares de cría a los cuales las ballenas jorobadas migran (IWC, 2006). De Julio a Octubre, las ballenas Jorobadas se reproducen alrededor de la costa Ecuatoriana, principalmente en Salinas, Bahía de Caráquez, Pedernales y la costa de Esmeraldas (Rubianes, 2015).

Los mamíferos marinos, son animales muy susceptibles a sonidos como sonares, explosiones, presencia de barcos, bulla humana, entre otros. Se han realizado varios estudios en los cuales se analizan los cambios en las canciones, el comportamiento o en general las respuestas de las ballenas jorobadas frente a estos disturbios. Por ejemplo las ballenas tienden a evitar sonares alejándose de la fuente del sonido y aumentando la velocidad de natación (Maybaum,1993). Estos sonidos reflejan un claro comportamiento de huida, lo que afirma que estos ruidos se pueden relacionar con amenazas o advertencias biológicas (Maybaum, 1993). Ciertos sonares navales de muy alta intensidad causa hundimiento de ballenas y puede alterar el comportamiento de buceo, llegando a afectaciones análogas a las enfermedades de descompresión, sangrados en el cerebro y desarrollo de lesiones en tejido de órganos (Fernandez et.al. 2015; Malme, 1993; Sonic sea, 2015). Algunas ballenas experimentan un mayor estrés en medio del mayor ruido de fondo producido por barcos y así aumentan el volumen de sus llamadas como un intento por superar este alto sonido (Rolland et.al. 2012; Sonic sea, 2015).

Así como las explosiones y ruidos en el mar, el avistamiento turístico de estos mamíferos marinos produce efectos a corto y largo plazo en las poblaciones de ballenas jorobadas, provocando cambios en actividades reproductivas, el cuidado parental, su alimentación y descanso. (Bauer et al. 1993, Corkeron 1995, Lusseau, 2003, Scheidat, 2004; Correa Gaitán, 2014) lo que afecta directamente en la supervivencia, éxito reproductivo y selección de hábitat (Bedjer y Samuels, 2003; Correa Gaitán, 2014). El tráfico de embarcaciones es en sí una de las principales amenazas por el deterioro de la calidad de agua, la potencial colisión con las ballenas y la contaminación acústica que desencadena en desorientación de los animales porque interfiere con las señales sonoras que utilizan para comunicarse (CPPS 2002), además de cambios en su distribución (Capella et al., 2001).

Nishimurra y Clark (1993), mencionan en su estudio sobre los posibles efectos de los sonidos de terremotos bajo el agua en mamíferos marinos que los terremotos o temblores en regiones oceánicas comúnmente generan señales acústicas conocidas como fase T, las cuales son similares a las explosiones provocadas por el humano. Estas fase T, se caracteriza por energía acústica por debajo de 100 Hz con la mayor parte de la energía entre el rango de 10 y 30 Hz. La fase T está relacionada a la magnitud de los terremotos y la zona de radiación del sonido se puede extender a varias decenas de km (Nishimurra y Clark, 1993). Existen también estudios sobre la reacción de las ballenas jorobadas a las explosiones bajo el agua en su orientación, movimiento y comportamiento (Sonic Sea, 2015). En las áreas de desarrollo de petróleo y gas fuera de la isla de Sakhalin de Rusia, las ballenas dejaron sus áreas de alimentación durante trabajos sísmicos y regresaban días después, cuando se detenían las excavaciones y explosiones en el

mar, un indicador claro de desplazamiento del hábitat (Sonic sea, 2015; Malme, 1993). Existe una correlación entre la ocurrencia de terremotos y los cambios observables en la forma de los cantos y la agregación de estos cetáceos (Nishimurra y Clark, 1993).

## **OBJETIVOS**

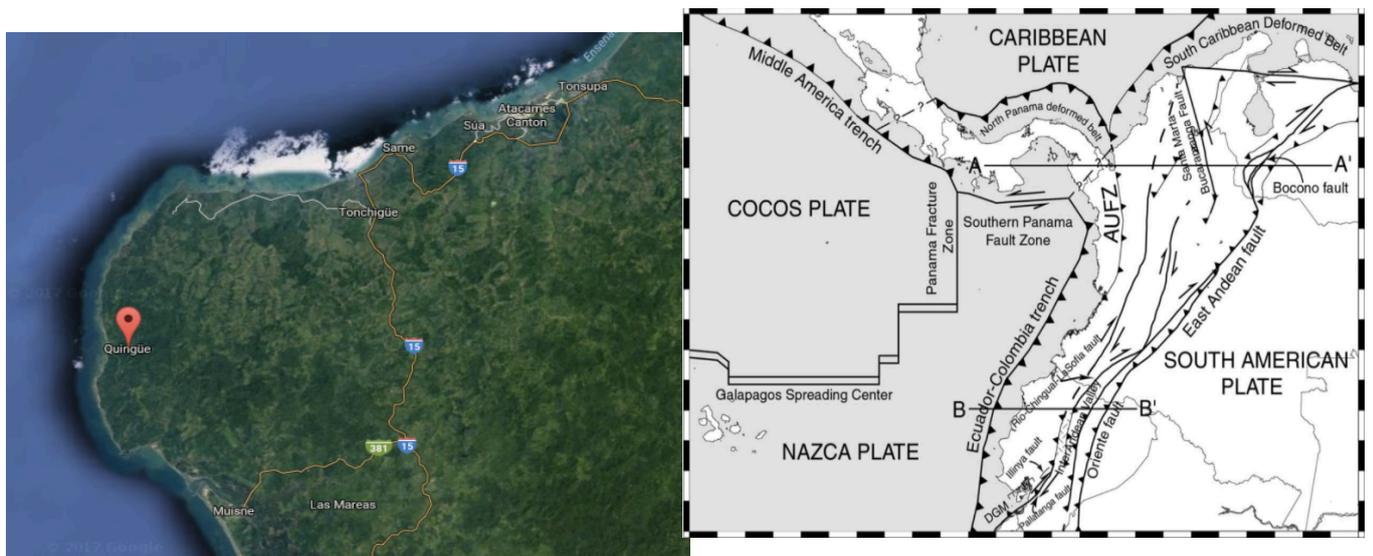
Sonidos antropogénicos fuertes en el mar como sonares, explosiones o presencia de embarcaciones tienen efectos perjudiciales en mamíferos marinos, afectando su distribución y comportamiento (Scheidat et al., 2004). El objetivo de este estudio es analizar si la ocurrencia de terremotos que viene con sonidos fuertes (Nishimurra y Clark, 1993) influye al comportamiento acústico y la estructura de canciones de ballenas.

## **MÉTODOS**

### Área de Estudio

El estudio se realizó en el año 2016 en la Reserva Marina Galera San Francisco, Esmeraldas, Ecuador (N 0°49'10.15" – W 80°02'55.67"). La temperatura superficial del mar varía entre los 24 a los 26 °C durante todo el año. La estructura de fondo está compuesta principalmente de sustrato duro, fondos mixtos de rocas y arena, y paredes con rocas y fondos blandos de profundidades que van desde 10 a 200 m. (Denkinger et al., 2006).

Esmeraldas, con su punta más prominente en Punta Galera, se ubica en el Noroeste del país. El relieve de esta provincia es ondulado, con elevaciones sobre los 200m. Se caracteriza por estar formado de rocas sedimentarias terciarias y cuaternarias de edad eocénica superar hasta la preistocénica (Whittaker,1976). En todo el territorio ecuatoriano, se evidencia la interacción entre la placa oceánica Nazca y la placa continental Sudamericana. (Figura 1.). La primera, constituye parte del piso oceánico y se ubica al occidente del continente. Esta placa tiene movimientos constantes que producen hundimiento de la Placa de Nazca bajo la Sudamericana, es por esto que existe un alto nivel de rozamiento que genera acumulación de energía y potenciales movimientos telúricos (Whittaker, 1976). (Figura 1).



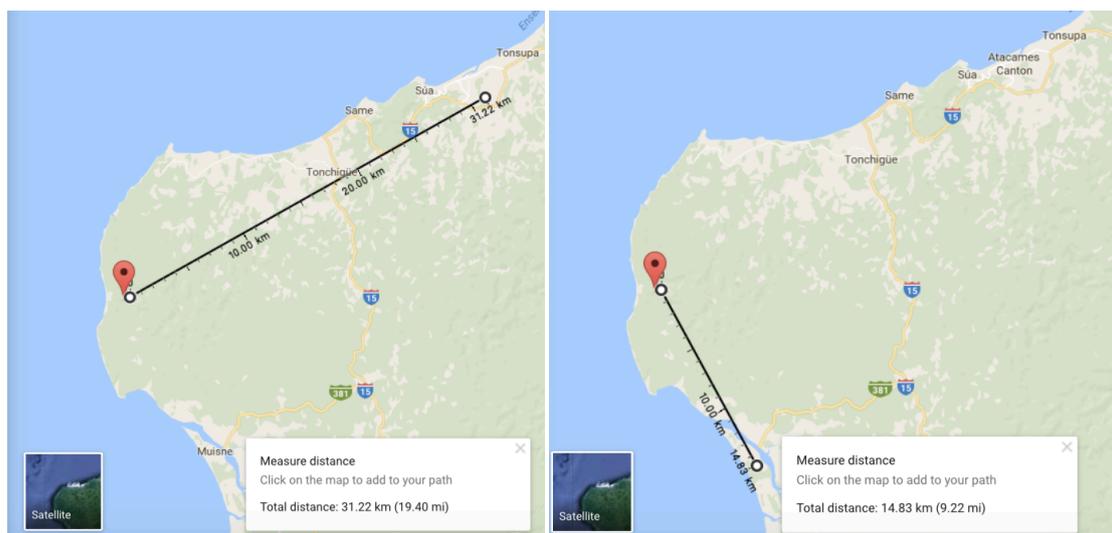
**Figura 1.** Mapa de área de estudio (izquierda), a la derecha, interacción de placas en el territorio Ecuatoriano. (Extraído de Trenkamp, et.al., 2002)

### Grabaciones de cantos en el campo

Se realizaron salidas diarias en el horario de 8h00 a 13h00, para grabar las canciones de las ballenas. Utilizando un hidrófono DolphinEAR/PRO y una grabadora digital TASCAM. Se utilizó una lancha con motor fuera de borda. Se realizarán grabaciones AdHoc durante la observación de ballenas cada 30min, grabaciones de ausencia-presencia por 10 min y grabaciones de cantantes de aproximadamente 30 min, las cuales variaron en duración de acuerdo a la calidad de la canción según SNR (Signal-to-noise ratio o el ruido ambiental presente en las grabaciones). Los viajes realizados a diario eran diferentes para poder cubrir toda la costa de Galera, Estero de Plátano, El Quingue y Caimito. Se realizaron 5 salidas previas al terremoto desde el 1 de julio hasta el 9 de julio y posterior al terremoto, se realizaron 19 salidas, con un total de 24 salidas.

El terremoto se sintió a partir del día 10 de julio en la noche, seguido por 3 replicas, la primera sucedió a las 21h00 con una magnitud de 5,9 a 8,7 km de profundidad y con epicentro en Muisne, Esmeraldas. El segundo se sintió a las 21h11, con magnitud de 6,2 a 10,1 km de profundidad. Las replicas posteriores tuvieron un epicentro en Muisne, que se encuentra a aproximadamente 15 km de distancia de caimito, en donde se realizó la toma de datos, y una magnitud de 3.2, 3.3, y 4.3 a las 21h42, 21h57 y 02h40 a una profundidad de 18.9, 6.1, 6.1 respectivamente. El ultimo sismo tenía su epicentro en Atacames, Esmeraldas, ubicado a aproximadamente 30 km de distancia (Google Maps, 2017) (Figura 2). Posterior al terremoto, se realizaron 17 salidas, completando un total de 24 salidas en todo el tiempo de muestreo.

Durante otra salida de investigación del 13 al 16 de septiembre se produjo otro sismo de magnitud 3,7 con epicentro en Muisne Esmeraldas el 14 de septiembre del mismo año que ayudó a corroborar el estudio realizado (IGM, 2017).



**Figura 2.** Mapa de distancias de zonas epicentro y Caimito. Distancia entre caimito y Atacames (Derecha) Caimito y Muisne (Izquierda)

### Análisis

Se describieron las unidades por cualidades visuales y auditivas del sonido utilizando el programa Raven Pro (Cornell, University, 2017). Una unidad son sonidos continuos entre dos silencios (González, 2015). Estas mediciones incluyen datos de tiempo de inicio y fin, frecuencia mínima, máxima y frecuencia pico dentro de una unidad y finalmente la frecuencia inicial y final de la unidad. A las canciones se las designo un nombre descriptivo denominándolas con la provincia en que se realizaron junto el respectivo día y hora de la grabación (e.g. 160803-1028-ESM). Posteriormente se identificaron todo tipo de cambios en las

unidades, sean estos cambios en la frecuencia o repetición, ausencia o aumento de sonidos y la comunicación .

En las 24 salidas se obtuvieron 80 canciones, a las que se categorizaron de acuerdo a la calidad determinada por la presencia de ruido ambiental o la nitidez del sonido. (good, very good, average y poor). De estas canciones, 20 eran buenas y 18 muy buenas. Se definieron además tres parámetros para analizar las canciones como *antes* del terremoto, *inmediato después* y *después lejano* en estos se analizaron 3, 2 y 3 canciones respectivamente. El parámetro *antes*, muestra las grabaciones realizadas en los 5 días de salidas previos al terremoto, para el *inmediato después* se analizó el día después del terremoto, y el *después lejano* se analizó con grabaciones posterior a 5 días del terremoto.

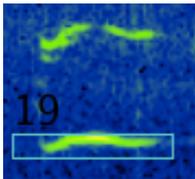
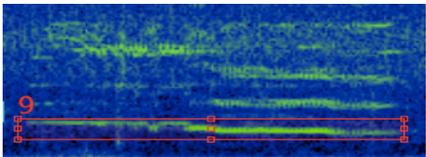
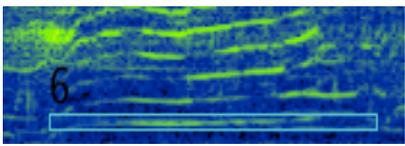
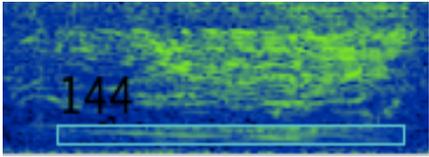
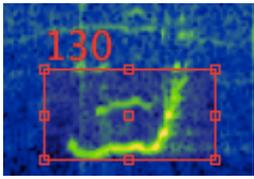
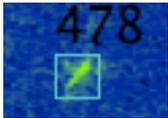
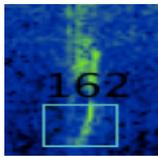
Además se realizó un análisis estadístico utilizando el análisis de varianza de 3 variables ANOVA y la prueba T para dos variables, las cuales requieren datos con distribución normal, por lo que se realizaron pruebas de normalidad a los datos obtenidos.

Para el análisis de las canciones obtenidas en el segundo sismo, durante 3 días de grabación se observó la comunicación y cambios en repeticiones y frecuencias al igual que en el mes de julio. Se mantuvieron únicamente dos parámetros que fueron *antes* y *después inmediato* por lo que se realizó una prueba T para el análisis.

## RESULTADOS

### Caracterización del Canto

**Tabla 1.** Caracterización de los cantos

Categoría de unidad	Nombre de unidad	Frecuencia(Hz)		Espectrograma
		Min	Max	
CRY	Ascending, Descending, high modulated, n-shaped, u-shaped	761	1076	
GROAN	Ascending, Descending, modulated, n-shaped	134	189	
MOAN	Ascending, Descending, modulated, n-shaped, u-shaped	205	364	
PURR	Purrr, Short purr	242	308	
SHRIEK	Ascending, Descending, modulated, n-shaped, u-shaped	580	1614	
SQUEAK	n-shaped, u-shaped (series)	288	432	
WHOOOP	whoop	201	567	

Para empezar, se identificaron las unidades significativas presentes en las canciones categorizadas como muy buenas. Se encontraron 33 unidades diferentes y se analizaron 2630 unidades en total. Estas incluyen *Cry, Groan, Moan, Shriek, Purr, Squeak, Whoop* y las variaciones de las mismas. (*Ascending, descending, u shaped, n shaped, modulated*) **(Tabla 1)**. Además, el estudio se dividió en dos partes, la primera para el análisis de comunicación entre cantantes y la segunda el análisis estadístico para identificar cambios significativos en frecuencia y repetición de las unidades. **(Tabla 2-6)**

### Comunicación

Para el análisis de comunicación entre cantantes, se eligieron 5 minutos aleatoriamente para cada canción escogida y se contaron las unidades significativas por minuto para establecer un promedio de las mismas.

Los cambios encontrados fueron evidentes, *antes* del terremoto, se obtuvo un promedio de 17,07/min en todas las canciones analizadas, con aproximadamente 4 segundos entre unidad **(Figura 3)**. De acuerdo al *inmediato después* este promedio ascendió a 31,04/min lo que refleja mayor comunicación entre individuos, con una distancia de 2 segundos entre cada unidad **(Figura 4)**. Finalmente para el *después lejano* se obtuvo en promedio 30,8 con 2 segundos aproximadamente entre unidades **(Figura 5)** que indica que la comunicación se mantuvo similar a la condición de inmediato después del terremoto.

### Análisis Estadístico

Se realizaron análisis de ANOVA a todas las 33 unidades encontradas y se encontraron cambios significativos en cuanto a la frecuencia pico, que aumentaba en las unidades *Descending Moan* (DM), *Moan* (M), *Modulated Ascending Moan* (MAM), *Purr* (P) y *Whoop* (W) de *antes* al *después* del terremoto, con valores p menores a 0.05. En el caso de la unidad DM se observó una disminución de repeticiones después del terremoto, en cuanto a M, pasa de 106 repeticiones a 190 y vuelve a 106, MAM refleja una disminución en repeticiones y finalmente P y W aumentan después de registrarse el terremoto (**Tabla 2**).

**Tabla 2.** Unidades con cambios significativos encontrados con el análisis ANOVA

	N			PROMEDIO			Valor P
	Antes	Inmediato	Lejano	Antes	Inmediato	Lejano	
Cry	33	60	48	783.03	755.46	729.89	0.54
Descending Moan	180	152	195	158.62	179.63	192.80	0.0001
Moan	106	190	106	267.95	318.47	259.82	0.0001
Modulated Ascending Moan	48	32	38	394.34	497.28	418.76	0.011
Purr	18	36	66	224.91	469.55	297.23	0.00001
Whoop	26	48	57	316.37	469.70	397.04	0.0012
Ascending Shriek	23	31	75	930.26	537.90	627.79	0.14

En cuanto a las unidades en las que no se evidenciaron cambios significativos, se realizaron pruebas T para identificar diferencias significativas al comparar *Antes* con *Inmediato después*, *Antes* con *después lejano* y finalmente *Después inmediato* y *lejano*. (**Tabla 3**).

En estos análisis, se encontró que la unidad *Cry* no cambio en ninguna de las categorías en cuanto a frecuencia pico, pero si aumento en repeticiones *inmediatamente después* del terremoto. Se analizó además la unidad *Ascending Shriek* (AS) en donde se evidenció un cambio respecto a las frecuencias de *antes* y

*después inmediato*, mas no en las demás categorías y finalmente, una unidad que reflejo cambios fue *M*, en donde al comparar *antes* con *después inmediato* hubo un cambio significativo pero al comparar antes con después lejano las frecuencias se normalizan y no hay un cambio significativo (**Tabla 3**).

Algo que también llamó la atención, es que unidades como *Squeak* y *U Squeak* aparecen en los cantos después del terremoto registrado. (**Tabla 4**).

**Tabla 3.** Unidades con cambios significativos al realizar Prueba T.

	VALOR P		
	Antes- Inmediato	Antes- lejano	Inmediato- Lejano
<b>Cry</b>	0.25	0.18	0.25
<b>Moan</b>	0.0007	0.31	0.0001
<b>Ascending Shriek</b>	0.046	0.06	0.26

**Tabla 4.** Unidades que aparecen en las canciones. N indica el numero de repeticiones de la unidad en el total de canciones analizadas.

	N		
	Antes	Inmediato	Lejano
<b>Squeak</b>	0	3	34
<b>U Squeak</b>	0	0	14

En cuanto al segundo sismo en el que se realizaron las grabaciones, no se observaron diferencias en la comunicación ya que el promedio se mantuvo en aproximadamente 30 unidades por minuto.

Los cambios se observaron en ciertas unidades como *Descending Moan*, que al igual que en el primer evento sísmico, disminuía en repeticiones, pero aumentaba en frecuencia con un valor p que indica cambios muy significativos

(Tabla 5). Nuevamente apareció la unidad *Squeak* que antes del terremoto se presento en 3 oportunidades, mientras que después aumento a 13. (Tabla 6)

**Tabla 5.** Pruebas T aplicadas a las unidades con distribución normal

	N		PROMEDIO		Valor P
	Antes	Después	Antes	Después	
<b>Descending Moan</b>	66	11	141,92	315,15	0,00001
<b>Modulated Cry</b>	9	21	712,99	693,16	0,39

**Tabla 6.** Unidades que aparecen en las canciones.

	N	
	Antes	Después
<b>Squeak</b>	3	13

## DISCUSIÓN

Eventos como los ruidos producidos por actividades antropogénicos afectan al comportamiento natural de ballenas (Sonic Sea, 2015) Sin embargo existe poca información sobre el impacto de eventos naturales dramáticos como los terremotos en el comportamiento acústico de las ballenas.

Se evidenciaron cambios en cuanto a las repeticiones de las unidades y las frecuencias pico de las mismas. En cuanto a los resultados se observaron cambios significativos en las unidades *Cry*, *Moan*, *Descending Moan*, *Purr* y *Squeak*. (Tablas 2-6). Existieron diversos problemas en cuanto a la identificación de unidades significativas por minuto para el análisis de comunicación debido al ruido ambiental y la presencia de varios cantantes en un mismo sitio de muestreo por lo que no se analizaron las canciones de un año, sino únicamente las unidades.

Para el segundo sismo no se pudieron analizar todas las unidades ya que existen pocas repeticiones y no cumplen con una distribución normal para realizar los análisis estadísticos necesarios, esto porque las canciones grabadas no fueron muchas con un total de 12 y algunas de ellas tenían baja calidad y un máximo de duración de 5 minutos por canción.

A partir de los análisis realizados, surgieron dos preguntas principales. La primera es: ¿por qué aumentaron las repeticiones de las unidades que forman parte de una canción? y la segunda: ¿por qué aumentan las frecuencias?

Cuando existe ruido ambiental, el hecho de repetir unidades o frases frecuentemente aumenta la efectividad para detectar los cantos en lugar de los sonidos ambientales (Maeda, et.al. 2000), es decir mientras más se repitan las unidades, es más posible que los cantantes puedan localizarse. Además la frecuencia pico de las ballenas supera la frecuencia pico del ruido ambiental (Maeda, et.al. 2000) y este ruido ejerce una fuerza selectiva sobre las ballenas ya que una frecuencia baja se confunde con el ruido ambiental, mientras que al subir las frecuencias se puede mantener la comunicación. Existen también señales acústicas que los terremotos o temblores en regiones oceánicas generan, a las que se denomina Fase T y esta emite energía por debajo de los 100Hz con mayor energía entre 10-30Hz, (Nishimurra y Clark, 1993) por lo cual las ballenas superan estas frecuencias mientras cantan para mantener la orientación y que las canciones puedan cumplir todas sus funciones. Esto puede explicar el hecho que aumentan la amplitud de la comunicación.

La estructura de las canciones tiene una relación estrecha con el comportamiento (Maeda, et.al. 2000).

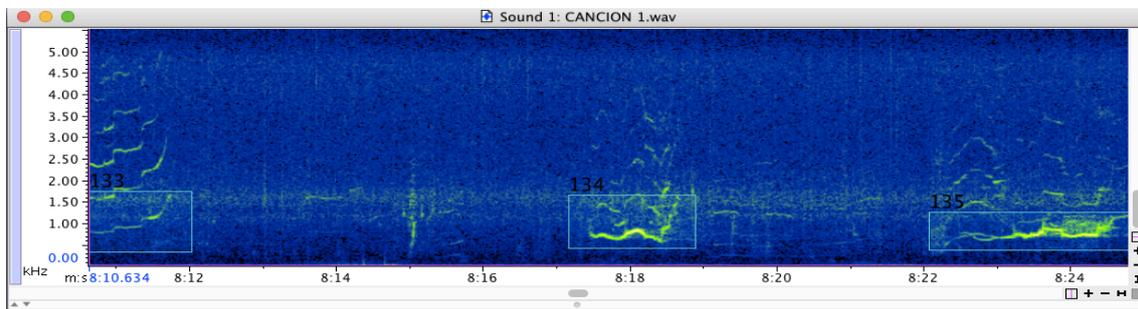
Finalmente, existieron unidades muy significativas y que reflejaron los cambios del terremoto, es así que en *Cry*, los promedios de las frecuencias bajan pero estos no son significativos, mientras que para *Moan*, las repeticiones suben y después de un tiempo regresan a lo normal. Las frecuencias pico suben inmediatamente pero se normalizan y al comparar *antes* y *después lejano* no existen cambios significativos. En la unidad *Descending Moan* las repeticiones disminuyen pero la frecuencia pico aumento. Para *Purr*, las repeticiones incrementan de *antes* a inmediato después y al *lejano después*, pero los promedios de frecuencia pico suben pero se normalizan. Finalmente existen sonidos que aparecieron como son Squeak y U Squeak con frecuencias de aproximadamente 4200 Hz.

La ruta migratoria de las ballenas jorobadas que llegan a las costas de Ecuador sigue las placas oceánicas y continentales sumamente activas y se producen temblores o terremotos regularmente en especial a lo largo de Chile, por lo tanto suponemos que para ellos la experiencia de un terremoto no es novedoso ya que se trata de animales de una longevidad de alrededor de 95 años (Chittleborough, 1965; Polanowski, et.al., 2014). Si se observaron estos cambios en un evento que es natural y al cual probablemente las ballenas están acostumbradas, es importante considerar el efecto de ruidos causados por los humanos y como estos alteran la estructura de sus cantos.

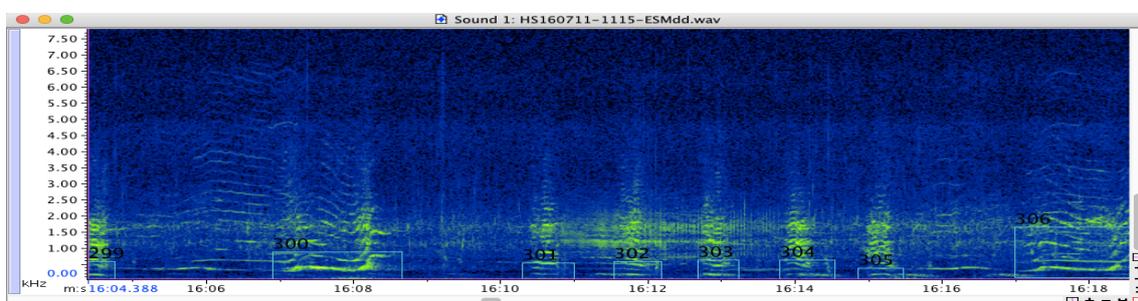
## CONCLUSIONES

Nuestro estudio confirma cambios estructurales en las unidades que forman parte de una canción. Se evidenció un aumento en la comunicación entre individuos. Además se puede decir que existen unidades que se puede considerar como indicadores de estrés, alerta o caos ya que el terremoto del 10 de julio de 2016 fue la causa de cambios estructurales en los cantos de las ballenas Jorobadas. Se sugiere continuar con un estudio que identifique el significado de las unidades utilizadas dentro de una canción más no de la canción como totalidad.

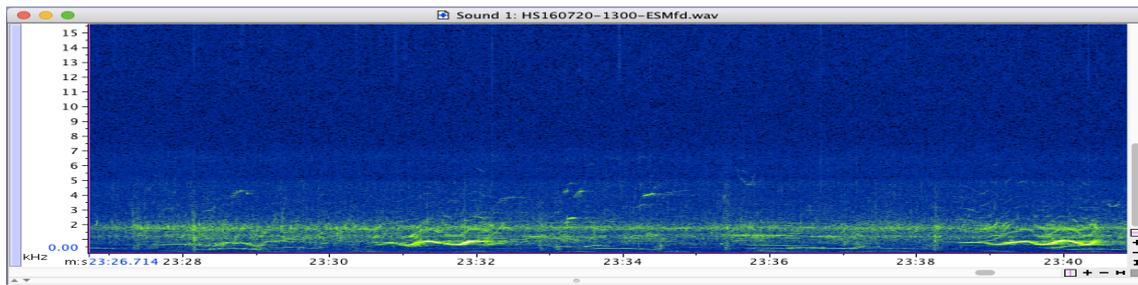
## ANEXOS



**Figura 3.** Comunicación *antes* del terremoto. 17,07 U/min.



**Figura 4.** Comunicación *inmediato después* del terremoto. 31,04 U/min.



**Figura 5.** Comunicación después lejano. 30,8 U/min.

## LITERATURA CITADA

- Correa Gaitán, L. M. (2014). Efecto a corto plazo de las embarcaciones turísticas y en tránsito sobre el comportamiento en superficie de megaptera novaeangliae: durante la temporada de reproducción 2008, en Bahía Málaga y alrededores (Valle del Cauca-Colombia).
- Chittleborough, R. (1965) Dynamics of two populations of the humpbackwhale, *Megaptera novaeangliae* (Borowski). *Marine and Freshwater Research*, 16,33–128.
- Darling, J. y Berube, M. (2001). Interactions of singing humpback whales with other males. - *Mar. Mammal Sci.* 17: 570-584
- Denkinger, J., Suárez, C., y Franco, A. (2006). *Proyecto ESMEMAR Informe Final Componente Marino*.
- Eriksen, N., Miller, L. A., Tougaard, J., y Helweg, D. A. (2005). Cultural change in the songs of humpback whales (*Megaptera novaeangliae*) from Tonga. *Behaviour*, 142(3), 305–328. Retrieved from <http://www.jstor.org/stable/4536246>
- Ersts, P. J., y Rosenbaum, H. C. (2003). Habitat preference reflects social organization of humpback whales (*Megaptera novaeangliae*) on a wintering ground. *Journal of Zoology*, 260(4), 337-345.
- Fernández, A., Edwards, J.F., Rodriguez, F., Espinosa de los Monteros, A., Herraiz, P., Castro, P., Jaber, J.R., Martin, V., y Arbelo, M. (2015). 'Gas and fat embolic syndrome' involving a mass stranding of beaked whales (Family Ziphiidae) exposed to anthropogenic sonar signals. *Veterinary Pathology* 42: 446-457.
- Folkens, P. A. R., y Randall, R. (2002). *Guide to marine mammals of the world* (No. Sirsi) i9780375411410). National Audubon Society.
- Garland, E. C., Goldizen, A. W., Rekdahl, M. L., Constantine, R., Garrigue, C., Hauser, N. D., Noad, M. J. (2011a). Dynamic horizontal cultural transmission of

humpback whale song at the ocean basin scale. *Current Biology: CB*, 21(8), 687–91. <http://doi.org/10.1016/j.cub.2011.03.019>

Garland, E. C., Goldizen, A. W., Rekdahl, M. L., Constantine, R., Garrigue, C., Hauser, N. D., Noad, M. J. (2011b). Report Dynamic Horizontal Cultural Transmission of Humpback Whale Song at the Ocean Basin Scale. *Current Biology*, 1–5. <http://doi.org/10.1016/j.cub.2011.03.019>

Google Maps (2017) Quingüe, Esmeraldas Province. Extraído de <https://www.google.com.ec/maps/place/Quingüe/@0.7166724,-80.085527,17z/data=!3m1!4b1!4m5!3m4!1s0x8fd4f86ee45eb7d3:0x357461b91b20c9f18m2!3d0.716667!4d-80.083333?hl=en>

IGM (2016) Informes de los últimos sismos. Extraído de <http://www.igepn.edu.ec/ultimos-sismos>

Maeda, H., Takashi, K., y Takemura, A. (2000). Principal component analysis of song units produced by humpback whales (*Megaptera novaeangliae*) in the Ryukyu region of Japan. *Aquatic Mammals*, 26(3), 202-211.

Maybaum, H. L. (1993). Responses of humpback whales to sonar sounds. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 94(3), 1848-1849.

Mercado III, E., y Frazer, L. N. (2001). Humpback whale song or humpback whale sonar? A reply to Au et al. *Oceanic Engineering, IEEE Journal of*, 26(3), 406-415.

Nishimura, C. E., y Clark, C. W. (1993). Underwater earthquakes noise levels and its possible effect on marine mammals. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 94(3), 1849-1849.

Payne, R. S., y McVay, S. (1971). Songs of Humpback Whales. *Science*, 173(3997), 585–597. Retrieved from <http://www.jstor.org/stable/1731712>

Payne, K., y Payne, R. (1985). Large scale changes over 19 years in songs of humpback whales in Bermuda. *Z. Tierpsychol.* 68, 89–114.

Polanowski, A. M., Robbins, J., Chandler, D., y Jarman, S. N. (2014). Epigenetic estimation of age in humpback whales. *Molecular ecology resources*, 14(5), 976-987.

Rolland, R.M., Parks, S.E., Hunt, K.E., Castellote, M., Corkeron, P.J., Nowacek, D.P., Wasser, S.K., y Kraus, S.D., (2012). Evidence that ship noise increases stress in right whales, *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences* doi:10.1098/rspb.2011.2429. Parks, S.E., Johnson, M., Nowacek, D., and Tyack, P.L. 2011. Individual right whales call louder in increased environmental noise. *Biology Letters* 7:33-35. See also Hatch, L.T., Clark, C.W., van

- Scheidat, M., Castro, C., Gonzalez, J., y Williams, R. (2004). Behavioural responses of humpback whales ( *Megaptera novaeangliae* ) to whalewatching boats near Isla de la Plata , Ecuador. *Cetacean*, 6(1), 1-6.
- Trenkamp, R., Kellogg, J., Freymueller, J. y Mora, H. (2002): Wide plate margin deformation, southern Central America and northwestern South America, CASA GPS observations. *Journal of South American Earth Sciences*, 15, 157 – 171.
- Tyack, P. (1981). Interactions Between Singing Hawaiian Humpback Whales and Conspecifics Nearby. *Behavioral Ecology and Sociobiology*, 8(2), 105-116. Retrieved from <http://www.jstor.org/stable/4599366>
- Tyack, P.L. & Clark, C.W. (2000). Communication and acoustic behavior of dolphins and whales. - In: Hearing by whales and dolphins (Au, W.W.L., Popper, A.N. & Fay, R.R., eds). Springer handbook of auditory research, 12, New York, p. 156-224.
- Winn, A. H. E., Thompson, T. J., Cummings, W. C., Hain, J., Hudnall, J., Hays, H., ... Steiner, W. W. (1981). Song of the Humpback Whale: Population Comparisons. *Behavioral Ecology and Sociobiology*, 8(1), 41-46. Retrieved from <http://www.jstor.org/stable/4599355>