

ESTIMACIÓN DE DISTANCIA DE DETECCIÓN DE CANTOS DE RANA EN GRABACIONES AUTOMÁTICAS DE ECOACÚSTICA

DETECTION RANGE ESTIMATION OF FROG CALLS IN ECOACOUSTICS LONG RECORDINGS

ANDRÉS ESTRELLA-T¹
DAMIÁN NICOLALDE-R.²
CHARLES ESCOBAR-T³

Recibido: 27 de septiembre de 2017

Aceptado: 31 de enero de 2018

¹ Pontificia Universidad Católica del Ecuador, Facultad de Ingeniería, Quito, Ecuador
(andrewsrocks@yahoo.com).

² Pontificia Universidad Católica del Ecuador, Facultad de Ingeniería, Quito, Ecuador
(danicolalde@puce.edu.ec).

³ Pontificia Universidad Católica del Ecuador, Facultad de Ingeniería, Quito, Ecuador
(cescobar637@puce.edu.ec).



ESTIMACIÓN DE DISTANCIA DE DETECCIÓN DE CANTOS DE RANA EN GRABACIONES AUTOMÁTICAS DE ECOACÚSTICA

DETECTION RANGE ESTIMATION OF FROG CALLS IN ECOACOUSTICS LONG RECORDINGS

Andrés Estrella-T, Damián Nicolalde-R., Charles Escobar-T

Palabras clave: Grabación automática ecoacústica, detección de cantos, bioacústica, aprendizaje supervisado, SNR

Keywords: Automated sound recorder, ecoacoustics, signal processing, soundscape ecology, Biology

RESUMEN

La recolección y procesamiento de material bioacústico se ha convertido en un verdadero reto debido a la existencia de equipos de grabación cada vez más automáticos y con capacidades de almacenamiento grandes, lo que ha provocado que los científicos tengan acceso a grandes volúmenes de información acústica. Analizar las grabaciones a

mano ya no es una opción viable y se ha recurrido al uso de auxiliares de *software* para análisis automático y semiautomático. Una de las etapas más importantes es la detección del elemento acústico que se desea estudiar y para esto se usan algoritmos de procesamiento digital de señales. Pensando en que las grabaciones deben ser precisas para posteriores



análisis, este estudio pretende establecer una guía que permita estimar el rango práctico de detección de cantos usando un algoritmo diseñado para el estudio de cantos en coros de ranas. Para encontrar el alcance de los equipos de grabación (SongMeter 4 (SM4) Wildlife Acoustics Inc.) es necesario que la relación señal-a-ruido del canto sea al menos de 3 dB. En este estudio se comparó el comportamiento del sistema de grabación en dos escenarios, uno considerado en condiciones ideales, donde existió siempre línea de vista entre la fuente sonora y el equipo de grabación (Parque Metropolitano, Quito) y un segundo donde el terreno era irregular y dominaba la vegetación y árboles (Sachatamia Lodge,

Mindo). Para realizar las mediciones se estableció una red circular centrada en el micrófono del SM4 con distancia entre mediciones de 1 metro, en los dos lugares estudiados el ruido de fondo se consideró constante. Se comparó la capacidad de detección del canto sin procesar y usando un filtro digital FIR diseñado tomando en cuenta la distribución espectral del canto buscado. Se encontró que la etapa de filtrado es un paso esencial para lograr la detección del canto incluso a cortas distancias. En los resultados cabe destacar: el alcance de detección del sistema combinado (SM4-algoritmo) en condiciones ideales llegó a 120 metros y en condiciones donde predominaba la vegetación y árboles 55 metros.

ABSTRACT

Recording sounds of different taxa in the wilderness is an important challenge that researchers have to deal with in order to study the dynamics of sounds in nature. The recent widespread of automated recorders have increased the volume of data exponentially yielding manual analysis rather impractical. As a result, algorithms for automatic sound analysis have been developed, but site-specific recording protocols have not been directly considered. Therefore, it is required to establish good practices

to get high reliability of data when recording in environments different than the ones for which the recording equipment was tested and specified. This study aims to estimate the detection range of frog calls based on its Signal-to-Noise-Ratio (SNR) at a certain distance, and was performed in two types of mountainous terrain located in the Andes mountains in Ecuador using an automated recording device SongMeter 4 (SM4) manufactured by Wildlife Acoustics Inc., which uses two omnidirectional microphones. For the



measurements, frog calls of *Hyloscirtus alytolylax* and *Dendropsophus carnifex* were used. A circular network centered in the microphone was used to perform 150 measurements with 1 meter spacing between points. A frog call detection algorithm developed as front-end module for automatic analysis was applied to the recordings with background noise considered constant. The Signal-to-Noise-Ratio of the calls was calculated per unit of distance to estimate the detection range. Results shown that frog calls are detectable only a few meters away

from the source if the audio is not filtered appropriately using a pre-processing FIR filter. When the FIR filter was applied the detection range increased considerably reaching up to 120m when no vegetation is present and around 55m in rain-forest environment. In conclusion, the recording network has to be designed considering the type of signal processing pipeline available to run the analysis later on and the detection range values determined experimentally used as a reference when designing the sampling protocol.

INTRODUCCIÓN

La recopilación [1] de material acústico en ambientes naturales de diferentes especies constituye uno de los elementos críticos que los investigadores deben considerar como insumo obligatorio para el estudio en campo o posterior del material recopilado. Por ello es necesario determinar procesos que puedan ser aplicados y probados para establecer buenas prácticas que ayuden a alcanzar altos márgenes de confiabilidad.

En el mercado existen varias opciones tecnológicas para capturar fuentes de audio que se ajustan generalmente al rango de 20Hz a 20KHz, o de acuerdo con la frecuencia de la naturaleza de la fuente.

Aun cuando los fabricantes establecen las hojas técnicas de los dispositivos de captura de material acústico, existen parámetros particulares de campo que no pueden ser considerados en las pruebas de fábrica, ya que supondría considerar todos los escenarios posibles para determinar el alcance de grabación de los dispositivos.

Por esta razón, es necesario de acuerdo con las condiciones particulares de cada caso, realizar previo a la captura de campo, pruebas del alcance de los dispositivos de grabación de material acústico. Para ello se debe considerar la naturaleza del material a capturar, es decir la amplitud y rango de frecuencias y



las condiciones del entorno que se relacionan con su ruido base y la existencia o no de otras fuentes de audio, de naturaleza similar a la que se desea capturar y que pueden interferir con la señal estudiada.

Estas pruebas pueden realizarse en el dominio del tiempo o en el dominio de la frecuencia, y se centrarán alrededor de la naturaleza de la señal a estudiarse. El parámetro limitante de cobertura es la relación señal a ruido SNR (Signal Noise Rate), al considerar las características de atenuación de las señales al alejarse de la fuente hasta el punto en que no pueda diferenciarse del nivel de ruido del entorno.

El comportamiento de la relación señal a ruido se realizará primero en el rango de 20Hz a 20KHz y luego se filtra alrededor de la señal de estudio para mejorar el alcance y la respuesta del sistema.

El enfoque principal de este análisis se orienta al dominio del tiempo, debido a que el material acústico recogido será utilizado en un sistema de aprendizaje supervisado que analiza la amplitud caracterizada de la señal, sin embargo, para otro tipo de procesamiento, pudiera realizarse en el dominio de la frecuencia.

El uso de grabadoras autónomas ecoacústicas, es cada vez más extendido alrededor del mundo a través de estudios que realizan los investigadores

de campo y que consiste en la instalación de varios micrófonos para grabar de manera continua el audio del entorno natural de la especie a ser estudiada, en disposiciones geométricas que permitan determinar la presencia o no de una especie y a través de modelos matemáticos la ubicación física del origen de estas fuentes de audio. Estas grabaciones generan grandes volúmenes de datos cuyo análisis manual es impráctico [2] [6]. Se requiere entonces el uso de algoritmos de análisis automático que ha sido un área de investigación activa con interesantes resultados en los últimos años [3, 4, 7, 8, 9, 10, 11, 12]. Sin embargo, varios desafíos existen al analizar las grabaciones de forma automática, desde el método de grabación, hasta la técnica de procesamiento digital y clasificación automática usada, es importante considerar todo el proceso de forma integral para conseguir resultados óptimos [5, 6]. El objetivo del presente estudio es el determinar la distancia a la que se produce una SNR adecuada para la detección de cantos de rana en grabaciones largas de ecoacústica. Se ha comparado dos ambientes, el primero en condiciones consideradas ideales con línea de vista entre el micrófono y la fuente acústica y el segundo en un bosque lluvioso en una zona con terreno irregular y dominada por vegetación y árboles.



En este estudio, se realizaron dos experimentos en grabaciones con el objetivo de identificar este umbral mínimo de SNR que permite al algoritmo de análisis y detección automático detectar los cantos de rana en una grabación lar-

ga del ambiente acústico de los Andes ecuatorianos. Aquí se presentan los resultados del estudio en dos ambientes acústicos distintos, la zona de Mindo - Sachatamia Lodge y el Parque Metropolitano de la ciudad de Quito en Ecuador.

MATERIALES

Lugares del estudio

El estudio se realizó en dos tipos de bosques montañosos ubicados en la cordillera de los Andes en Ecuador. El primero está localizado en el Parque Metropolitano de la ciudad de Quito (PMQ) a 2850 msnm. Cerca de la línea ecuatorial, la temperatura media oscila entre 12°C y 18°C y la precipitación media anual está entre 1000-2000 mm. (SIGAGRO,2004) La estación lluviosa va desde octubre hasta mayo y la seca desde junio a septiembre. El estudio se realizó los primeros días de marzo en plena estación lluviosa. La segunda medición se realizó en la reserva ecológica privada Sachatamia Lodge (STL) en el bosque nublado-lluvioso de Mindo ubicada a 1700 msnm. El clima oscila entre 16°C y 26°C y la precipitación media anual es de 2525 mm. El mes más seco es agosto y marzo registra la mayor precipitación. Las mediciones se realizaron durante el mes de diciembre.

Protocolo de medición acústica

El sonido se obtuvo usando una grabadora automática SongMeter 4 (SM4) Wildlife Acoustics Inc. El SM4 es una grabadora automática programable que está compuesta de dos micrófonos omnidireccionales, un conversor análogo-digital y un microcontrolador dentro de una caja protectora resistente a las condiciones del ambiente. Se ubicó una grabadora a 1 m sobre el suelo en posición horizontal en un trípode y se activó la grabación con ganancia de 0dB en los dos micrófonos. El muestreo se estableció en 44.1 Khz a 16-bit de resolución en cada canal. La fuente sonora usada fue un parlante bluetooth portátil (DOOS SoundBox Output Power: 6W x 2) conectado a un teléfono inteligente (SmartPhone Samsung J7). Las grabaciones se realizaron en dos escenarios, el primero considerado óptimo y el segundo en condiciones reales dominadas por la vegetación y la irregularidad de la superfi-



cie. El primer escenario fue en el Parque Metropolitano de Quito, el parlante se ubicó a 40cm del suelo apuntando hacía el eje longitudinal de los micrófonos. La reproducción del canto de rana se hizo cada metro empezando a 0m hasta 120m con línea de vista entre el micrófono y el parlante. En el segundo escenario, la grabación se realizó en Mindo, la medición se realizó desde 0m a 30m en desnivel en una zona dominada por vegetación con línea de vista entre el micrófono y el parlante. El parlante se ubicó al mismo nivel del suelo apuntando hacía el eje longitudinal de los micrófonos.

Material bioacústico

Para las mediciones se usaron dos cantos de ranas distintas, uno de *Hylos-*

cirtus alytolylax compuesto de 8 sílabas monotonales mostrado en la figura 1 y el otro de *Dendropsophus carnifex* compuesto de tres sílabas. Los cantos se extrajeron de una grabación larga realizada en Mindo con la grabadora automática SM4. El sonido fue preprocesado usando un filtro tipo FIR con frecuencias de corte $f_{c1} = 1600\text{Hz}$ y $f_{c2} = 4000\text{Hz}$ para eliminar el ruido de fondo. El clip de audio resultante tiene una duración de 1 seg. y el canto de 0.511 seg. La frecuencia dominante del canto es de 2800Hz. El espectrograma y oscilograma del canto se muestran en la Figura 1. El espectrograma se calculó usando una ventana de Blackman-Harris con 1024 muestras y 50 % de sobreposición.

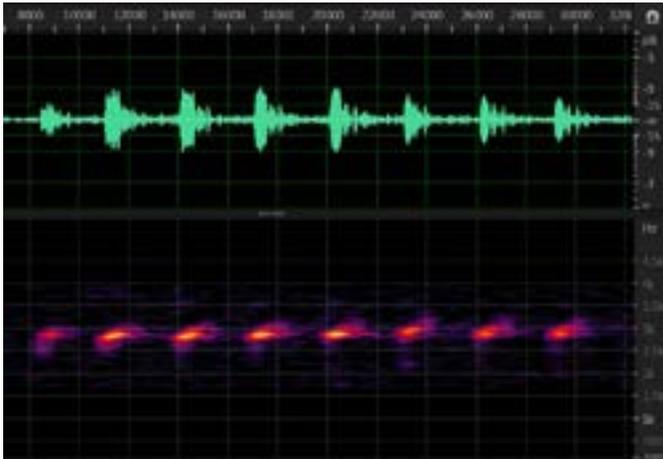


Figura 1. Espectrograma y oscilograma del canto de *Hyloscirtus alytolylax* usados en las estimaciones



MÉTODOS

Esquema de mediciones

Para realizar las mediciones se estableció una red circular al rededor del micrófono SM4 tal como se muestra en la Figura 2. La distancia entre mediciones es de 1 m. En cada punto, la grabación registra 5 segundos de canto y se obtiene la intensidad de la fuente sonora alejándose de forma continua 1 metro de

distancia. En los dos lugares estudiados el ruido de fondo se considera constante. Las mediciones siguen una línea recta en cada set de mediciones y se realizaron dos por cada sitio. Debido a la irregularidad del terreno, no se realizan mediciones cubriendo todo el radio de la circunferencia en la localidad de Mindo.

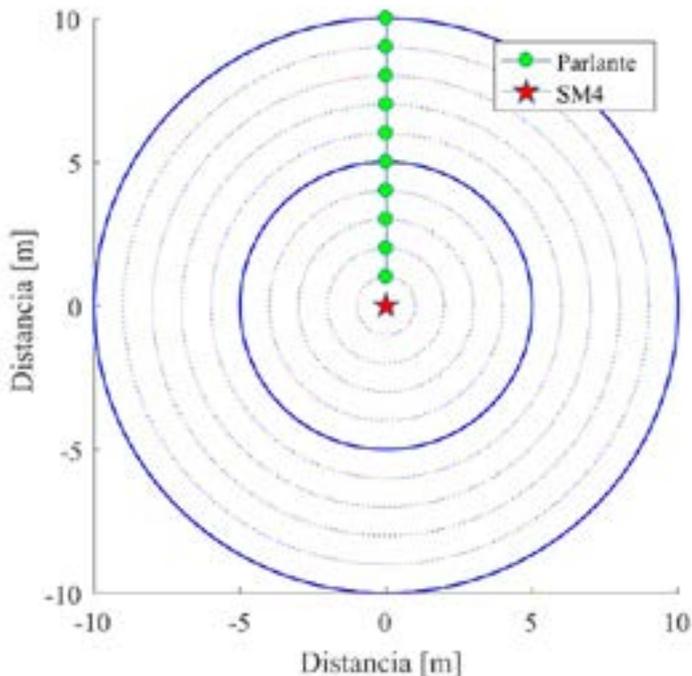


Figura 2. Esquema de mediciones en un plano de 10 metros. El círculo indica la posición del parlante y la estrella la grabadora automática SM4

Detección de cantos

Al usar algoritmos de análisis automático en grabaciones largas es importante saber hasta qué distancia la unidad acústica será detectada y clasificada. De esta forma se puede diseñar y aplicar un régimen de grabación apropiado que permita optimizar el análisis automático. Para este análisis se usan técnicas de procesamiento digital de señales y aprendizaje de máquina (Machine Learning). Se considera que el canto es detectado cuando el algoritmo es capaz de identificar un canto de la especie estudiada, sin embargo, para que esto ocurra, el canto debe ser identificado y discriminado sobre el nivel de ruido del ecosistema estudiado. Para determinar el alcance de los micrófonos es necesario encontrar la relación señal-a-ruido SNR del sistema y contrastarlo con la capacidad del algoritmo de establecer los puntos de inicio y final del canto. Es im-

portante también estudiar el alcance de los micrófonos cuando se analiza el material bioacústico considerando el ancho de banda fijado por las características del equipo grabador y sus micrófonos, por lo general entre 20Hz y 20Khz y también realizar el estudio aplicando filtros pasa-banda alrededor del canto de la especie estudiada, en este caso específico el FIR descrito en la sección 2.3.

La relación SNR se calcula de acuerdo con:

$$SNR_{dB} = 10 \log_{10} \left(\frac{\text{var}(\text{Canto})}{\text{var}(\text{Ruido})} \right)$$

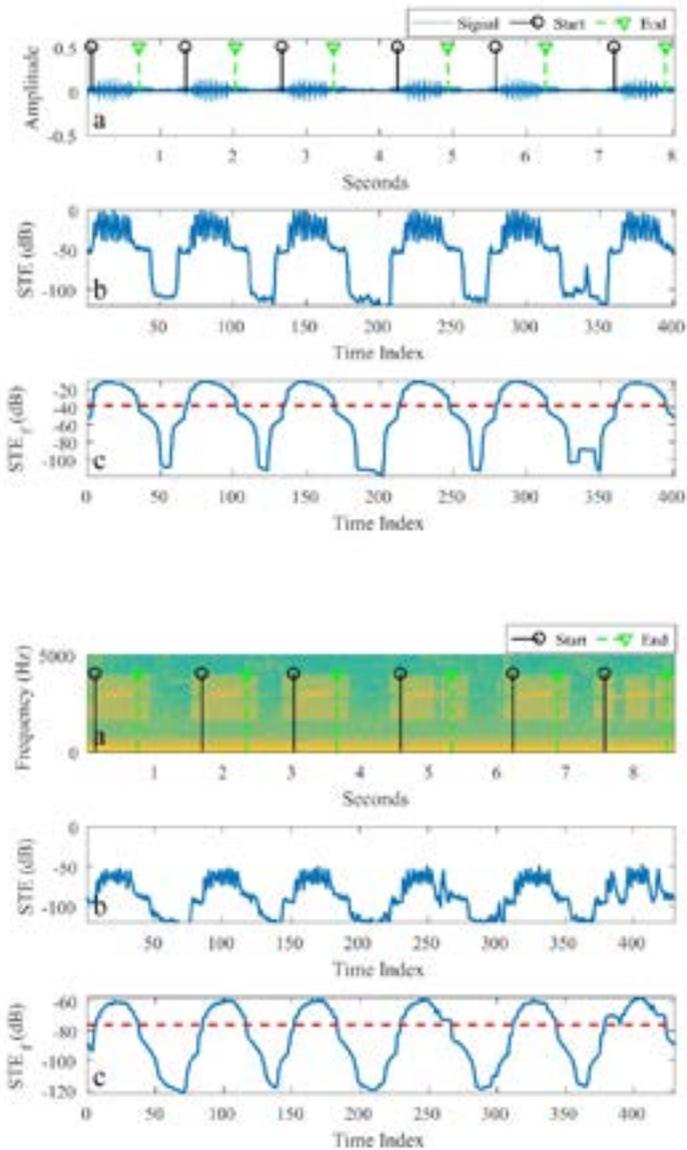
Donde $\text{var}(\)$ es la varianza del segmento de audio.

Para calcular esta relación se toman 0.33 segundos de ruido de fondo antes y después del canto de rana. La duración de 0.66 seg. es aproximadamente igual al valor medio de la duración de un segmento con canto a la salida del algoritmo de detección.

RESULTADOS

Se aplicó un algoritmo de detección que permite realizar la segmentación automática a las grabaciones realizadas en campo, tomando aproximadamente 30 segundos analizar cada archivo de 30 minutos. El análisis se hizo en una computadora portátil

con un procesador de 2.7Ghz y 8GB de memoria RAM. En la Figura 3 se observa el análisis en el dominio del tiempo de 6 cantos consecutivos de *Hyloscirtus alytolylax* grabados a 1, 15 y 30 metros de distancia en el Parque Metropolitano de Quito.



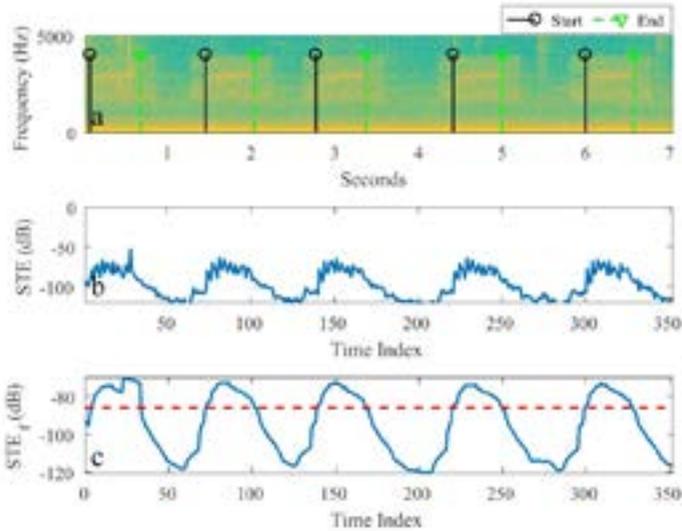


Figura 3. Detección del canto de rana a 1 m. (arriba), 15 m. (medio) y 30 m. (abajo). a. Oscilograma de los cantos b. STE en ventanas de 20 ms. c. STE_f con umbral de detección

SNR por unidad de distancia

Para el cálculo del SNR se usó la fórmula descrita en la sección 3.2 en el cuarto canto de cada secuencia. Los resultados del cálculo se muestran en la tabla 1, en la que se relaciona la distancia y la SNR sin aplicar el filtro FIR y aplicado el filtro FIR. La aplicación del filtro descrito en la sección 2.3 aumenta la SNR considerablemente por lo que es importante seleccionar adecuadamente el filtro de acuerdo con las frecuencias dominantes de la unidad acústica que se desea detec-

tar. Las Figuras 6 y 7 muestran distancia versus SNR filtrado y sin filtrar para PMQ y Sachatamia Lodge respectivamente. Se puede observar claramente que el filtrado es un paso esencial para conseguir una SNR suficiente para que el algoritmo de segmentación automática pueda identificar los puntos de inicio y final de cada canto. El uso del filtro FIR consigue aumentar la SNR en hasta 30dBs en ambos casos. Para el caso de PMQ donde existió línea de vista entre el micrófono y el parlante el rango de detección llega

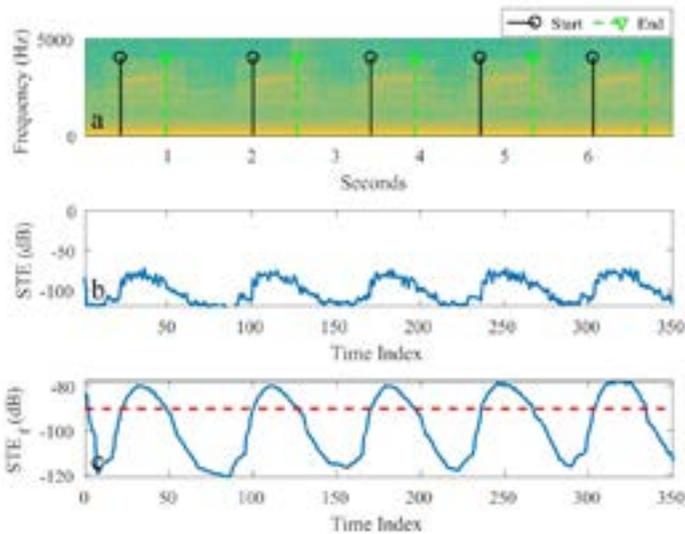


hasta 120 metros y 150 en proyección Mindo, se observa una proyección de lineal. Para los cantos grabados en hasta 55 metros aproximadamente.

DISCUSIÓN

Recientemente se han extendido los esfuerzos por estudiar y analizar la estructura acústica de las zonas naturales lo que ha dado lugar a la creación de nuevas áreas científicas como la Ecoacústica [13],[14] y la Ecología de paisaje sonoro [5]. Para realizar una grabación que permita obtener la mayor cantidad de información posible es necesario que el proceso de grabación

esté ligado a la forma en que se realiza el análisis automático de las grabaciones. Sin embargo, la mayoría de la información descrita en la literatura se enfoca en áreas templadas y los estudios realizados en Ecuador son mínimos. Los experimentos realizados con la grabadora SM4 en dos zonas de los Andes ecuatorianos revelaron importantes datos que se discuten a continuación.



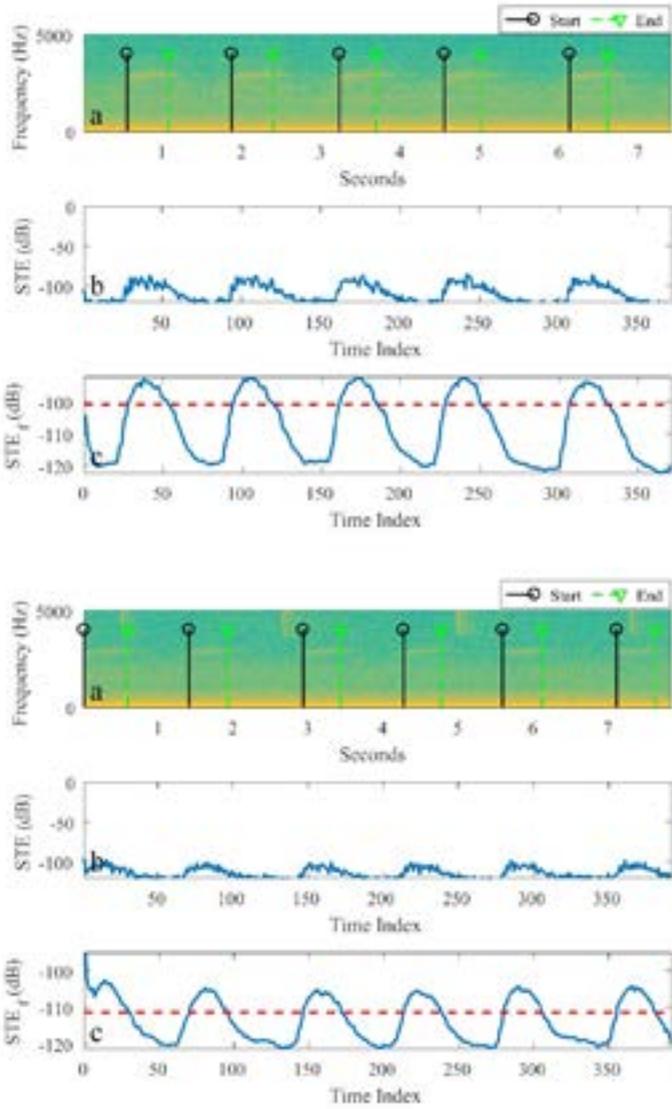
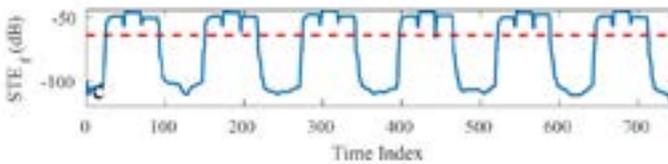
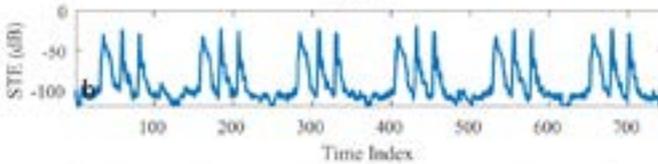
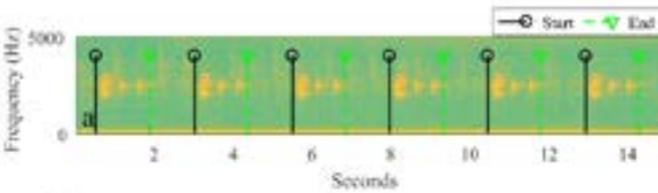
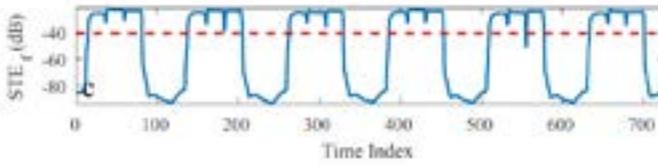
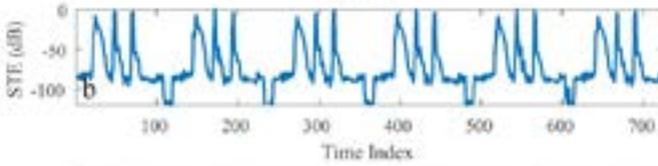
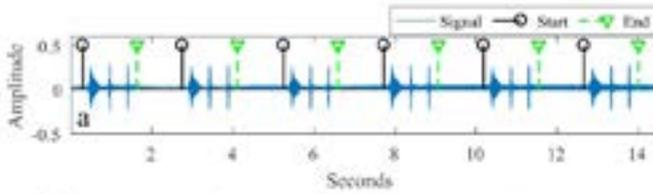


Figura 4. Detección del canto de rana a 45 m. (arriba), 60 m. (medio) 120 m. (abajo). a. Oscilograma de los cantos b. STE en ventanas de 20 ms. c. STEf con umbral de detección



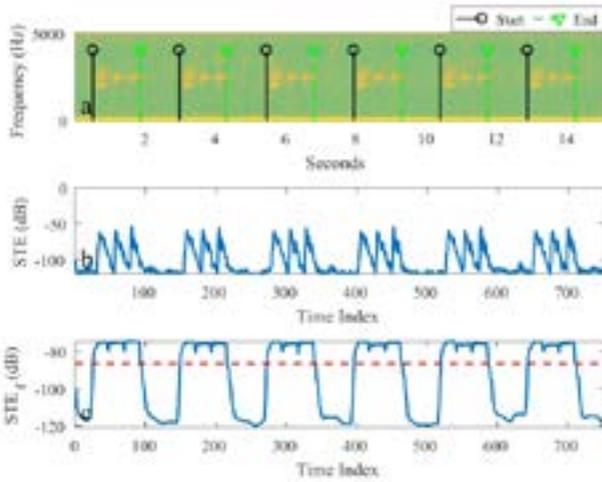


Figura 5. Detección del canto de rana a 1 m., 5 m., 10 m. a. Oscilograma y espectrograma de los cantos b. STE en ventanas de 20 ms. c. STE_f con umbral de detección

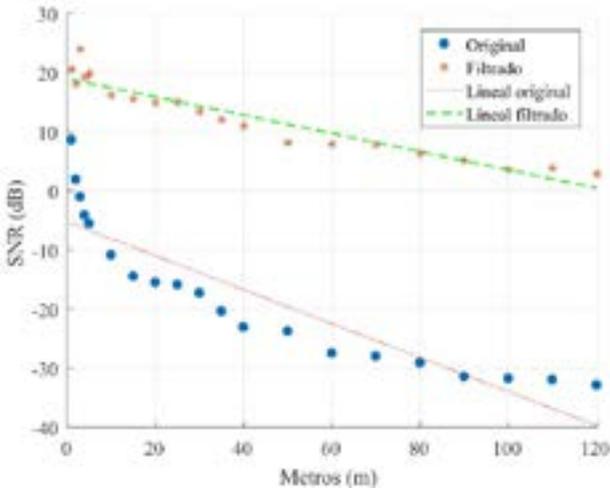


Figura 6. Señal a Ruido en PMQ por unidad de distancia a la fuente sonora.

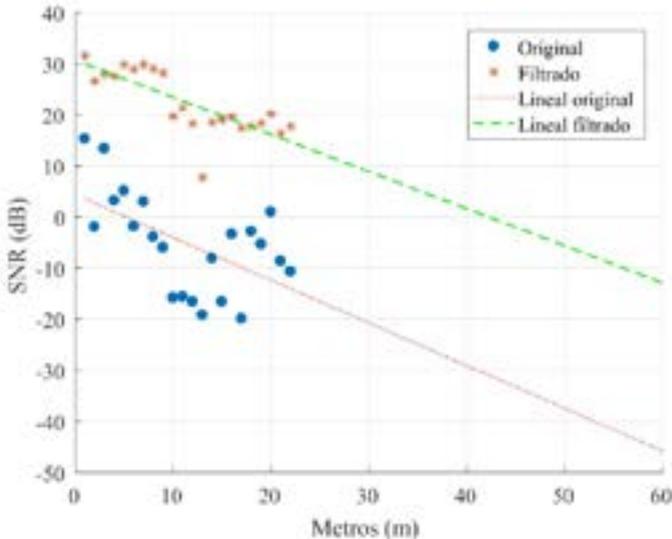


Figura 7. Señal a Ruido en STL por unidad de distancia a la fuente sonora.

SNR en relación con la distancia

Se encontró que la distancia a la que se puede detectar un canto de rana aplicando el algoritmo de detección propuesto en la sección 3.2 no es un valor de referencia estable ya que el ruido de fondo es dependiente del lugar, la hora, el clima y la estación del año, afectando la detectabilidad del canto incluso a cortas distancias. En su lugar, la SNR con la que se registra el canto si es un parámetro estable ya que se calcula tomando en cuenta los niveles de ruido de fondo de ese momento. Para instalar una red de grabación se sugiere tomar en cuenta

la SNR en el sitio de estudio para tener una idea del alcance que tendrá una grabadora. Para lograr este objetivo se recomienda llevar a cabo una rutina de calibración en cada grabadora antes de realizar la grabación con la unidad acústica que se desea analizar.

En las grabaciones del PMQ se puede detectar el canto hasta los 120 metros del micrófono en línea de vista ya que la SNR lo permite, esto contrasta con el alcance registrado en la zona de Mindo donde el nivel de ruido de fondo permite al sistema detectar solo hasta los 55 metros un canto. Por esta razón



es recomendado desarrollar una rutina de calibración de cada micrófono en la zona una vez instalado y usar esos valores de SNR como referencia para los análisis posteriores y el diseño de la red de grabación.

La importancia del filtrado para mejorar la SNR

Como se observa en la tabla 1, la aplicación de un filtro FIR diseñado para extraer las frecuencias dominantes de la unidad acústica deseada, es un factor determinante al momento de detectar un canto. El filtro FIR aumenta sustancialmente la SNR en comparación con la señal original permitiendo al algoritmo de detección seleccionar el canto correctamente incluso al estar atenuado por la

distancia al micrófono. Al no aplicar el filtrado, se observa que la señal se degrada rápidamente después de los 3 metros reduciendo la SNR a valores negativos lo que hace su detección muy poco probable. Por el contrario, si se aplica un filtro diseñado apropiadamente, la SNR aumenta y se mantiene por sobre los 2.8dB incluso pasado los 120m de distancia al micrófono. Con la distancia la reducción de SNR es aproximadamente lineal pasando de 20dB a 10dB en 30 metros. Es importante entonces conocer el contenido en frecuencia de los cantos de las especies que se desea registrar para poder aplicar filtros adecuados a la unidad acústica buscada y mejorar la capacidad de detección del sistema automático previo a la clasificación.



Distancia (m)	SNR (dB)	SNR _{fit} (dB)
1	8.59	20.64
2	1.90	18.06
3	-1.05	23.91
4	-4.17	19.23
5	-5.60	19.81
10	-10.90	16.16
15	-14.52	15.52
20	-15.52	14.89
25	-15.93	15.01
30	-17.33	13.41
35	-20.41	12.03
40	-23.09	11
50	-23.79	8.14
60	-27.51	7.87
70	-28.01	7.80
80	-29.16	6.32
90	-31.48	5.13
100	-31.79	3.57
110	-32.02	3.87
120	-32.91	2.84

Tabla 1: SNR del audio sin filtrar y filtrado por cada 5 m de distancia al micrófono medido en PMQ

CONCLUSIONES

Las grabaciones acústicas es una técnica de censado remoto que permite extraer información complementaria a los estudios tradicionales usados en Ecología y Biología. Con el rápido avance de

la tecnología, los equipos son cada vez más versátiles y eficientes, lo que permite generar más información sobre los procesos ecológicos que se desarrollan en una zona.

En este estudio se pudo caracterizar el desempeño de la detección de un canto de rana en dos zonas de los Andes ecuatorianos con resultados distintos, por lo que se recomienda realizar mediciones en diferentes elevaciones, climas, temperaturas y condiciones meteorológicas para tener datos completos del desempeño del sistema automático de detección en cada situación que se presenta en campo. Además, es importante considerar el módulo de procesamiento de señales que se usará para el análisis automático ya que un filtrado adecuado puede aumentar considerablemente el desempeño del análisis y detección automática de cantos de rana. Por esta razón, se recomienda considerar al estudio como un proceso completo de análisis desde el diseño de la red, la instalación y el posterior análisis del material acústico.

Este estudio es el primero en su tipo que se realiza en Ecuador y muestra información importante para investigadores interesados en diseñar redes de grabación Ecoacústica que permitan extraer la mayor cantidad de información en los Andes ecuatorianos.

La metodología usada es aplicada en el dominio del tiempo, usando como parámetro limitante del alcance de los micrófonos y la capacidad de detección del canto del algoritmo la relación señal-a-ruido, sin embargo, para futuros estudios se puede realizar este estudio en el dominio de la frecuencia usando como limitante la caracterización de los patrones de los componentes de frecuencia de los cantos, lo que podría extender la cobertura de los micrófonos a distancias con relaciones señal a ruido negativas.

AGRADECIMIENTOS

El estudio ha sido auspiciado por la Pontificia Universidad Católica del Ecuador dentro del proyecto de investigación "Diseño de un sistema de estimación de indicadores de biodiversidad en base a un algoritmo de análisis automático de audio digital. Caso de es-

tudio Anuros de los Andes de Ecuador". A Sachatamia Lodge por su cooperación y auspicio durante la etapa de grabaciones en el campo. A Andrés Merino por su importante guía para el desarrollo de la metodología de grabación.



BIBLIOGRAFÍA

- Jones C., Warburton B., Carver J., Carver D., Potential applications of wireless sensor networks for wildlife trapping and monitoring programs, *Wildlife Society Bulletin* 39 (2) (2015) 341–348. doi:10.1002/wsb.543.
- A. Rodriguez, A. Gasc, S. Pavoine, P. Grandcolas, P. Gaucher, J. Sueur, Temporal and spatial variability of animal sound within a neotropical forest, *Ecological Informatics* 21 (2014) 133–143. doi:10.1016/j.ecoinf.2013.12.006. URL <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecoinf.2013.12.006>
- J. Sueur, S. Pavoine, O. Hamerlynck, S. Duvail, Rapid acoustic survey for biodiversity appraisal, *PLoS ONE* 3 (12). doi:10.1371/journal.pone.0004065.
- J. S. Ulloa, A. Gasc, P. Gaucher, T. Aubin, M. Réjou-Méchain, J. Sueur, Screening large audio datasets to determine the time and space distribution of Screaming Piha birds in a tropical forest, *Ecological Informatics* 31 (2016) 91–99. doi:10.1016/j.ecoinf.2015.11.012. URL <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecoinf.2015.11.012>
- J. Sueur, a. Gasc, P. Grandcolas, S. Pavoine, Global estimation of animal diversity using automatic acoustic sensors, *Sensors for Ecology: Towards integrated knowledge of ecosystems* (2012) 101–119. URL <http://sueur.jerome.perso.neuf.fr/WebPage{ }PapersPDF/Sueuretal{ }INEE{ }2012.pdf>
- M. Towsey, S. Parsons, J. Sueur, Ecology and acoustics at a large scale, *Ecological Informatics* 21 (2014) 1–3. doi:10.1016/j.ecoinf.2014.02.002. URL <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1574954114000181>
- J. Cheng, Y. Sun, L. Ji, A call-independent and automatic acoustic system for the individual recognition of animals: A novel model using four passerines, *Pattern Recognition* 43 (11) (2010) 3846–3852. doi:10.1016/j.patcog.2010.04.026.
- I. Potamitis, S. Ntalampiras, O. Jahn, K. Riede, Automatic bird sound detection in long real-field recordings: Applications and tools, *Applied Acoustics* 80 (2014) 1–9. doi:10.1016/j.apacoust.2014.01.001.
- M. Towsey, B. Planitz, A. Nantes, J. Wimmer, P. Roe, A toolbox for animal call recognition, *Bioacoustics* 21 (2) (2012) 107–125. doi:10.1080/09524622.2011.648753. URL





- <http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/09524622.2011.648753>
- E. J. S. Fox, Call-independent identification in birds, School of Animal BiologynnSchool of Computer Science and *Software Engineering PhD* (2008) 1– 152. doi:10.1080/09524622.2008.9753590. URL https://repository.uwa.edu.au/R/-?func=dbin-jump-full{%&object_{id}=10527{%&local_{base}=GEN01-INS01
- D. W. Armitage, H. K. Ober, A comparison of supervised learning techniques in the classification of bat echolocation calls, *Ecological Informatics* 5 (6) (2010) 465–473. doi:10.1016/j.ecoinf.2010.08.001.
- D. Chesmore, Automated bioacoustic identification of species., *Anais da Academia Brasileira de Ci??ncias* 76 (2) (2004) 436–440. doi:10.1590/S0001-37652004000200037.
- A. Farina, S. H. Gage, *Ecoacoustics: The Ecological Role of Sounds*, Wiley, 2017. URL <http://www.wiley.com/WileyCDA/WileyTitle/productCd-1119230691.html{#}see-less-toc>
- J. Sueur, A. Farina, L. J. Villanueva-Rivera, B. C. Pijanowski, J. Doucette, B. Pekin, J. Wimmer, M. Towsey, B. Planitz, I. Williamson, P. Roe, A. Nantes, J. Wimmer, P. Roe, *Ecoacoustics: the Ecological Investigation and Interpretation of Environmental Sound*, *Biosemiotics* 8 (2) (2015) 493–502. doi:10.1007/s12304-015-9248-x. URL <http://www.tandfonline.com/doi/a1080/09524622.2011.648753http://dx.doi.org/10.1016/j.future.2012.03.004>

