

LLAMADOS Y CANTOS DEL MIRANCHURITO *Pheucticus aureoventris* (AVES,
CARDINALIDAE) EN ZONAS ASOCIADAS A BOSQUE SECO TROPICAL Y BOSQUE
ALTOANDINO DEL SUROCCIDENTE DE COLOMBIA.

LUCERO ESTEFANIA LEGARDA SOLARTE

UNIVERSIDAD DE NARIÑO
FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES Y EXACTAS
PROGRAMA DE BIOLOGIA
PASTO
2016

LLAMADOS Y CANTOS DEL MIRANCHURITO *Pheucticus aureoventris* (AVES
CARDINALIDAE) EN ZONAS ASOCIADAS A BOSQUE SECO TROPICAL Y BOSQUE
ALTOANDINO DEL SUROCCIDENTE DE COLOMBIA.

LUCERO ESTEFANIA LEGARDA SOLARTE

Trabajo de grado presentado para optar al título de Biólogo

Asesorado por

Carlos Trujillo
Biólogo.

Aquiles Gutiérrez
Magister en Ecología

UNIVERSIDAD DE NARIÑO
FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES Y EXACTAS
PROGRAMA DE BIOLOGIA
PASTO
2016

“las ideas y conclusiones aportadas en este trabajo de grado son responsabilidad de su autor”
Artículo 1° del acuerdo número 324 de octubre 11 de 1966. Consejo Directivo de la Universidad
de Nariño

Nota de aceptación

Aquiles Gutiérrez

Asesor

Carlos Trujillo

Asesor

Jhon Jairo Calderón

Jurado

Julie Bastidas

Jurado

AGRADECIMIENTOS

A las mujeres de mi familia, Argenis, Aura, Estela, Nelly y Luisa, que siempre me brindaron su apoyo durante el transcurso de la carrera y de la vida.

A mis entrañables amigos de la universidad de Nariño y ZAP, por tantos años de amistad, cariño y paciencia.

A violeta por ser la fuerza, el amor y la felicidad de cada día.

Al grupo de investigación en Ecología Evolutiva por el préstamo de equipos y por brindarme su apoyo durante este proceso investigativo.

Al docente Aquiles Gutiérrez por los aportes en el documento y por compartir conmigo sus conocimientos y su valiosa amistad.

A Carlos Trujillo por hacer posible este trabajo, gracias a sus instrucciones, consejos y recomendaciones, y también por introducirme al fascinante mundo de los cantos de aves.

A Ronald Fernández por sus recomendaciones, su ayuda en el manejo de software y por compartir su pasión por el estudio del comportamiento animal.

Al docente Jhon Jairo Calderón por sus aportes en el documento y por brindarme las oportunidades de conocimiento e investigación a lo largo de la carrera.

A la bióloga Julie Pauline Bastidas por sus aportes y explicaciones en el desarrollo de esta investigación.

A todas las personas que me acogieron y me acompañaron durante las salidas de campo.

...Pájaros inventores azules de la música

o tácitos testigos de la aurora.

Yo, poeta

popular, provinciano, pajarero,

fui por el mundo buscando la vida:

pájaro a pájaro conocí la tierra:

reconocí donde volaba el fuego:

la precipitación de la energía

y mi desinterés quedó premiado

porque aunque nadie me pagó por eso

recibí aquellas alas en el alma

y la inmovilidad no me detuvo.

Pablo Neruda.

CONTENIDO

GLOSARIO.....	x
RESUMEN.....	xii
ABSTRACT.....	xiv
INTRODUCCIÓN.....	16
HIPOTESIS.....	21
OBJETIVOS.....	22
Objetivo general.....	22
Objetivos específicos.....	22
ANTECEDENTES.....	23
MARCO TEORICO.....	27
Comunicación animal.....	27
Comunicación vocal.....	28
El sonido.....	29
Características y propiedades del sonido.....	31
Comunicación vocal en aves.....	37
Estructura de las vocalizaciones.....	39
Silabas.....	39
Llamados.....	40
Cantos.....	41
Bioacústica.....	42
Oscilogramas.....	43
Sonogramas.....	43
Familia Cardinalidae.....	44
El género <i>Pheucticus</i>	45
<i>Pheucticus aureoventris</i>	46
MATERIALES Y METODOS.....	47
Ubicación del área de estudio.....	47
Descripción del área de estudio.....	48
Zonas asociadas a Bosque Altoandino.....	48
Zonas asociadas a Bosque Seco Tropical.....	51
Grabaciones.....	52
Análisis de los sonidos.....	53

Análisis de datos	55
Estimación del tamaño del repertorio vocal	55
Descripción de los llamados y cantos	56
Comparación de las vocalizaciones	56
RESULTADOS.....	57
Estimación del tamaño del repertorio vocal	57
Descripción de los llamados	59
Descripción de los cantos.	61
<u>Cantos de las zonas asociadas a Bosque Altoandino</u>	61
Cantos de las zonas asociadas a bosque seco tropical	63
Comparación de los cantos entre localidades de muestreo.....	69
DISCUSIÓN	73
Descripción de las vocalizaciones	73
Comparación de los cantos en dos tipos de ecosistemas.	75
CONCLUSIONES	80
RECOMENDACIONES.....	81
ANEXO 1.....	88
Bibliografía	82

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Espectrograma del canto (phrased warble) de <i>Pheucticus ludovicianus</i>	23
Figura 2: Espectrograma de los llamados (chink y squawk) de <i>Pheucticus ludovicianus</i>	23
Figura 3: Sonogramas representativos de los cantos de <i>Pheucticus melanocephalus</i> macho	24
Figura 4: Silabas del canto de <i>Cardinalis cardinalis</i> en cinco localidades de Norte América....	25
Figura 5: Ejemplo de onda sinusoidal. (Fuente: Jaramillo, 2007).	30
Figura 6: Ejemplos de longitud de onda, periodo y frecuencia (Fuente: Jaramillo, 2007).....	31
Figura 7: Ondas de sonido regular e irregular (Fuente: Mindlin y Laje, 2005).....	32
Figura 8: Componentes de una onda compleja. (Fuente: Mindlin y Laje, 2005).	33
Figura 9: Oscilaciones armónicas. (Fuente: Mindlin y Laje, 2005)	34
Figura 10: Modulaci3n de frecuencia. (Fuente: Jaramillo, 2007).....	35
Figura 11: Grafico de Presi3n (fuente: Jaramillo, 2007)	36
Figura 12: Secci3n ventral de la siringe de oscines (Fuente: Larsen y Goller, 2002).	38
Figura 13: Silaba del canto de <i>Zonotrichia capensis</i> . (Fuente: Mindlin y Laje, 2005).	39
Figura 14: Elementos, silabas y frases del canto de un Paseriforme. (Fuente: Slater, 1999).	41
Figura 15: Representaci3n de un oscilograma (Modificado de Mindlin y Laje 2005).....	43
Figura 16: Sonograma de un canto de ave (Fuente: Mindlin y Laje 2005)	44
Figura 17: <i>Pheucticus aureoventris</i> (Fotos: Legarda L y Merchancano. 2015).	46
Figura 18: Ubicaci3n de las 1reas de estudio. Fuente: este estudio.	48
Figura 19: Localidades de las zonas asociadas a Bosque Altoandino Fotos: Legarda, 2015..	50
Figura 20: Localidades asociadas a Bosque Seco Tropical Foto: Merchancano, 2015.	52
Figura 21: Grabaci3n de los sonidos en zonas asociadas a bosque seco tropical y bosque altoandino. Fotos: Merchancano, 2015 y Mart3nez 2015.	53
Figura 22: Sonograma donde se indica un llamado y un canto de <i>Pheucticus aureoventris</i>	54

Figura 23: A) Altura de percha y B) cantidad de observaciones de los individuos formando grupos, parejas o solitarios.....	57
Figura 24: Curva de acumulación obtenida a partir de la Ecuación de Clench.	58
Figura 25: Llamados de <i>Pheucticus aureoventris</i>	60
Figura 26: Sonogramas de tres cantos representativos de las zonas asociadas a Bosque Altoandino.....	62
Figura 27: Sonograma con tres tipos de cantos representativos de las zonas asociadas a Bosque Seco Tropical.	64
Figura 28: Silabas más frecuentes en los cantos de las 2 zonas de estudio.	66
Figura 29: Gráficos de caja y bigotes	68
Figura 30: Dendograma de agrupación según el índice de Jaccard.	72

LISTA DE TABLAS

Tabla 1: Datos obtenidos a partir de la estimación del repertorio vocal de <i>P. aureoventris</i> usando la ecuación de Clench.	58
Tabla 2: Duración y frecuencia de los cuatro tipos de llamados de <i>Pheucticus aureoventris</i> , datos de promedio y desviación estándar tomados a partir de 8 grabaciones.	60
Tabla 3: Duración y frecuencia de los cantos, tomados a partir de 196 cantos de <i>Pheucticus aureoventris</i> en zonas asociadas a Bosque Altoandino, valores de media (m) y desviación estándar (s)	63
Tabla 4: Duración y frecuencia tomados a partir de 144 cantos de machos adultos de <i>Pheucticus aureoventris</i> , grabados en zonas asociadas a Bosque Seco Tropical, Valores de media (m) y desviación estándar (s).	65
Tabla 5: Registro de las silabas en cada una de las zonas de estudio, se muestra el número de observaciones y la frecuencia correspondiente.	66
Tabla 6: Promedio de duración, frecuencias y ancho de banda de las silabas más frecuentes y los cantos de <i>Pheucticus aureoventris</i> entre las zonas asociadas a BST y B-Alt.	67
Tabla 7: Variación de frecuencia y duración de los cantos entre las zonas de estudio).	70

GLOSARIO

Acústica: La acústica es una rama de la física interdisciplinaria que estudia el sonido, infrasonido y ultrasonido, es decir ondas mecánicas que se propagan a través de la materia (tanto sólida como líquida o gaseosa).

Dialecto: Es la variación regional de una vocalización que tiene determinadas características funcionales que le son específicas desde la forma, el sonido y las características espectrales y temporales de cada vocalización.

Trino: vocalización compuesta por notas repetitivas que se emite en contextos de agresión o reproducción.

Etología: es una rama de la Biología que aborda el estudio de la conducta espontánea de los animales en su medio natural.

Emisor: Entendemos por emisor a una de las dos partes esenciales y formante de todo proceso comunicativo junto al receptor. El emisor es aquel que envía un mensaje en un código apropiado para ser adecuadamente recibido y comprendido por el receptor, dando forma así al proceso comunicativo que puede suceder de diversas e infinitas maneras.

Infrasonido: Sonido cuya frecuencia es tan baja que no puede ser percibida por el oído humano. Por lo general se aplica desde los 16 o 17 Hz hasta los 0,001 Hz.

Onda: En física, una onda (del latín unda) consiste en la propagación de una perturbación de alguna propiedad de un medio, por ejemplo, densidad, presión, campo eléctrico o campo magnético, a través de dicho medio, implicando un transporte de energía sin transporte de materia.

Receptor: Receptor es aquel o aquello que recibe algo. El verbo recibir, por su parte, hace referencia a obtener, tomar, asumir o asimilar alguna cosa.

Ruido: El ruido es la sensación auditiva inarticulada generalmente desagradable. En el medio ambiente, se define como todo lo molesto para el oído o, más exactamente, como todo sonido no deseado, generalmente se encuentra en frecuencias bajas.

Ultrasonido: El ultrasonido son ondas mecánicas, es decir no ionizantes, cuya frecuencia está por encima del umbral de audición del oído humano (aproximadamente 20 000 Hz).

RESUMEN

Las aves han logrado un mayor desarrollo de su comunicación vocal gracias a la morfología de su siringe y a conductas de aprendizaje, estas características les permiten desarrollar amplios repertorios vocales que se usan para diferentes funciones y varían de acuerdo a factores ambientales, acústicos y comportamentales. Estas variaciones se han evaluado anteriormente en varias especies de la familia Cardinalidae y el género *Pheucticus*, y podrían estar presentes en la especie *Pheucticus aureoventris*, por lo tanto en esta investigación se propuso evaluar las características de los llamados y cantos de *Pheucticus aureoventris* e identificar las diferencias en cuanto a duración, frecuencia y composición de sílabas de los cantos emitidos en zonas asociadas a Bosque seco tropical y bosque altoandino en varias localidades de Nariño y Cauca.

Para ello se realizaron grabaciones en diferentes localidades de los Municipios de Pasto, Taminango y Mercaderes, los cantos y llamados se editaron mediante el software Adobe Audition 3.0, la clasificación de las sílabas del canto se realizó mediante la observación de los sonogramas usando el software Raven-Pro 1,5 y la comparación de las vocalizaciones en los diferentes ecosistemas se realizó mediante pruebas estadísticas T de Student y U de Mann Withney, para determinar la variabilidad de los cantos se aplicó pruebas de varianza Anova y Kruscal Wallis, finalmente se determinó la relación entre los cantos de las diferentes localidades con un dendograma de agrupamiento usando el índice de similitud de Jaccard.

Se registró un total de 345 cantos, 4 tipos de llamados y 52 tipos de sílabas de la especie, los cantos asociados a zonas de bosque altoandino presentaron un promedio de 7 sílabas, con frecuencias que oscilaron entre los 1,5 a 4,5 KHz, mientras que los cantos de zonas asociadas a bosque seco tropical presentaron un promedio de 3 sílabas y un rango de frecuencias desde los

1,2 KHz hasta 4,5 KHz, también se brindó una estimación del tamaño del repertorio vocal de los machos de la especie.

Los resultados de las pruebas T de Student y U de Mann Withney, indicaron que existen diferencias significativas en todos los parámetros evaluados, siendo más notables la duración y el número de sílabas, los análisis de varianza reflejaron variación de los cantos entre localidades de un mismo ecosistema, pero el análisis de agrupamiento indicó que las diferencias son más marcadas entre localidades de diferentes ecosistemas. La variación de cantos encontrados y las diferencias en sus parámetros físicos se atribuyen a las condiciones climáticas y acústicas contrastantes de las dos zonas de estudio y las diferencias en la composición de sílabas se relacionan con la cercanía de las localidades de grabación.

ABSTRACT

Birds have achieved greater development of their vocal communication thanks to the morphology of the syrinx and learning behaviors, these features allow them to develop extensive vocal repertoires that are used for different functions and vary according to environmental, acoustic and behavioral factors. These variations have been previously evaluated in several species of Cardinalidae and Pheucticus, and may be present in the species black-backed grosbeak, therefore this research was aimed to evaluate the characteristics of the calls and songs of black-backed grosbeak and identify differences in terms of duration, frequency and composition of syllables of the songs, broadcast in areas associated with tropical dry forest and high Andean forest at various locations in Nariño and Cauca.

Recordings were made at different locations in the municipalities of Pasto, Taminango and Mercaderes, songs and calls were published by Adobe Audition 3.0 software, the classification of the syllables was performed by observing sonograms using the Raven-Pro software 1.5, and make a comparison of vocalizations in different ecosystems through statistical tests T Student and Mann Whitney, then we test of variance, using the test Kruscal Wallis and Anova to determine the variability of the songs, finally the relationship between the songs of the different localities are determined with a cluster dendrogram using the Jaccard similarity index.

We recorded 345 songs, 4 types of calls and 52 types of syllables of the species, songs associated with Andean forest areas had an average of seven syllables, with frequencies ranging between 1.5 to 4.5 KHz, while the edges of zones associated with tropical dry forest had an average of three syllables and a range frequency from 1.2 KHz to 4.5 KHz, the results of the Student's t test and Mann Whitney indicated that there are significant differences in all parameters evaluated, most notable being the length and number of syllables, analysis of

variance reflected variation between localities singing the same ecosystem, but the cluster analysis indicated that the differences are more marked between locations of different ecosystems. The variations of songs and differences in their physical parameters are attributed to the contrasting climatic and acoustic conditions of the two study áreas and differences in the composition of syllables are related to the proximity of the town

INTRODUCCIÓN

El estudio de la comunicación animal se basa en comprender las interacciones entre emisores y receptores que se dan a través de diferentes medios y en diferentes contextos sociales, donde es necesario recurrir a diversas estrategias para comunicarse exitosamente, en este sentido, los animales han desarrollado diferentes canales sensoriales y son capaces de producir una amplia variedad de señales. Dichas señales son de carácter visual, auditivo, químico o eléctrico y son usadas para el reconocimiento entre individuos, la defensa del territorio y el cortejo (Brumm, 2006) (kaplan, 2014).

El grado de importancia de la señal varía entre grupos taxonómicos, de esta forma la transmisión de señales visuales y auditivas es principalmente usada por anfibios, insectos y aves (Kemp & Kaplan, 2012; Futahashi, et al, 2015). En el caso particular de las aves, el canal visual y auditivo son los más importantes ya que juegan un papel clave en su reproducción y supervivencia, es por ello que las aves poseen plumajes llamativos, cantan o realizan complejas danzas de cortejo (kaplan, 2014; Kulahci, Drea, Rubenstein, & Ghazanfar, 2014).

La transmisión de información por medios sonoros es un canal central de comunicación, incluso en comportamientos sociales complejos de las aves, debido a que estas han desarrollado la capacidad de producir una serie de vocalizaciones denominadas llamados o cantos, los cuales poseen diferentes funciones y conforman un variado repertorio vocal. El tamaño y la complejidad del repertorio varía entre especies, por ejemplo, *Zonotrichia leucophrys* utiliza uno o dos tipos de canto, mientras que *Cistothorus platensis* puede tener repertorios muy extensos con 200 a 350 tipos de cantos (Hesler, Mundry, & Dabelsteen, 2011), estas diferencias en los

repertorios han sido relacionadas con los procesos de selección sexual, atracción de hembras y longevidad de los individuos (Byers & Kroodsma, 2008; Dickinson, 2012).

También existen variaciones entre los cantos de poblaciones aisladas que resultan de procesos diferenciados de aprendizaje, donde los entornos sociales influyen en la divergencia acústica de los cantos a través de la selección intraespecífica (Beecher & Brenowitz, 2005; Podos & Warren, 2007), o pueden ser determinadas por las propiedades acústicas y la cobertura vegetal del hábitat que ejerce una presión de selección sobre las señales vocales, modificando sus variables estructurales como frecuencia, amplitud, ancho de banda o número de elementos de un canto, estas adaptaciones son de vital importancia ya que permiten a las aves evitar la atenuación de las señales y transmitir información de forma eficiente (Morton, 1975; Brumm & Slabbekoorn, 2005; Brumm & Naguib, 2009).

Dichas variaciones han sido evaluadas en especies de la familia Cardinalidae, quienes comparten importantes características acústicas en sus cantos, como la ausencia de un trino, frecuencias que se encuentran en un rango promedio de 1000 a 7000 Hz, una variada estructura, organización y composición de sílabas y un reconocido patrón de variación geográfica en sus cantos, anteriormente se había descrito la presencia de dialectos en cardinalidos a lo largo de su área de distribución, los cuales se han atribuido al aprendizaje, la dispersión, y posiblemente factores innatos y también se ha encontrado diferencias en las vocalizaciones de estas aves relacionadas con los diferentes tipos de ecosistemas que habitan. (Lemon R. , 1966; Dunham, 1965; Emlen, 1971; Ritchison, Song repertoires and the singing behavior of male Northern Cardinals, 1988; Schook, Collins, Jensen, Williams, Bader, & Parker, 2008) .

La mayoría de estos estudios, han sido realizados con cardinalidos de Norte América, y se ha documentado bien el comportamiento vocal de especies como *Pheucticus ludovicianus* y *Pheucticus*

melanocephalus, (Dunham, 1965; Kroodsma, 1974; Ritchison, 1983), sin embargo, los estudios con especies de la familia Cardinalidae y el género *Pheucticus* en Sur América son muy escasos, es por ello que surge la necesidad de recopilar información que permita vislumbrar los sistemas de comunicación de las aves en entornos neotropicales.

En este sentido, este estudio se propuso caracterizar y comparar los llamados y cantos de *Pheucticus aureoventris*, una especie que habita en los andes del suroccidente de Colombia, de quien se desconoce aspectos básicos de su etología y las características de su canto permanecían inexploradas, para ello se brindó una estimación del tamaño de su repertorio vocal y se evaluó las diferencias en cuanto a frecuencia, número de sílabas y duración de los cantos, en zonas asociadas a Bosque Seco Tropical (BST) y Bosque Altoandino (B-Alt) de Nariño y Cauca.

Las diferencias encontradas en cuanto a frecuencia, duración y número de sílabas se atribuyen a las características del paisaje o variables climáticas de cada zona y también se relacionan con conductas de aprendizaje particulares dentro de cada población. Las diferencias de los cantos podrían responder a procesos de adaptación de estas poblaciones de aves para comunicarse exitosamente en estos ecosistemas con una naturaleza acústica contrastante.

JUSTIFICACIÓN

Para obtener una comprensión más profunda de la variedad de cantos que presentan las aves, el papel que desempeñan dentro de las poblaciones y su relación con los mecanismos que llevan al éxito reproductivo, es necesario identificar cómo funcionan y como han evolucionado las señales acústicas, para ello se requiere ampliar el conocimiento que se tiene sobre sus propiedades y las condiciones que afectan la transmisión de señales en diferentes tipos de ecosistemas.

Al conocer la estructura de los cantos de aves, se contribuye al entendimiento básico de su etología, que es un elemento fundamental en los procesos ecológicos y evolutivos de las poblaciones, especialmente de aquellas poblaciones de oscines, quienes han logrado un mayor desarrollo de sus vocalizaciones gracias a la compleja morfología de la siringe y conductas de aprendizaje que influyen directamente en la atracción sexual y defensa de su territorio (Catchpole & Slater, 2008; Byers & Kroodsma, 2008; Dickinson, 2012).

Las señales acústicas que emiten los oscines están estrechamente asociadas a las condiciones del hábitat (Brumm & Naguib, 2009) por lo que el establecimiento de una clasificación completa de sus vocalizaciones puede contribuir a la planificación de estrategias de gestión y conservación de los ecosistemas de forma eficaz, debido a que la variación acústica puede ser utilizada como un indicador de alerta temprana ante las perturbaciones del hábitat, factores como la fragmentación o altos niveles de ruido pueden provocar la evolución de los sistemas de comunicación, que se manifiesta como variación en las vocalizaciones de algunas especies cuyas respuestas a los cambios del entorno son muy rápidas (Laiolo & Tella, 2006; Laiolo, 2010).

Pheucticus aureoventris es una especie presente en ecosistemas de bosque seco y bosque altoandino, los cuales presentan altos niveles de degradación y el conocimiento acerca de sus procesos biológicos y ecológicos son muy limitados (Miles, et al, 2006; Fajardo, et al, 2005) en este contexto, surge la necesidad de recopilar información básica para aportar de forma integral al conocimiento de estos ecosistemas y la manera en que las especies se están adaptando a la rápida transformación del paisaje.

Pheucticus aureoventris es conocido localmente como el Miranchurito y es una especie muy representativa de la región andina Nariñense, por la belleza de su canto ha sido referenciada en diferentes representaciones artísticas y culturales, a pesar de ello los aspectos de su historia natural son desconocidos y los parámetros acústicos de su canto no han sido objeto de un análisis riguroso en toda su área de distribución.

Esta especie presenta gran plasticidad ecológica y además se ha adaptado a diferentes tipos de hábitat (Pacheco, 2008; Hilty & Brown, 2001), por lo que representa un modelo de estudio interesante para la comprensión de la comunicación vocal de las aves y la información obtenida puede ser usada para identificar patrones de comunicación vocal dentro de los ecosistemas, de esta forma poder contribuir con su conservación y aportar con el desarrollo de la bioacústica como disciplina científica en Nariño y Colombia.

HIPOTESIS

Las vocalizaciones de los cardinalidos son ricas en composición de sílabas y presentan variaciones locales que están definidas por conductas de aprendizaje e imitación entre individuos y responden a las características ambientales y acústicas de los diferentes tipos de hábitat, por lo tanto *Pheucticus aureoventris* exhibe un amplio repertorio vocal y sus cantos presentan diferencias en cuanto a frecuencia, duración y número de elementos en zonas de bosque altoandino y bosque seco tropical

OBJETIVOS

Objetivo general

Caracterizar y comparar los llamados y cantos de *Pheucticus aureoventris* en zonas asociadas a Bosque Seco Tropical y Bosque altoandino del Suroccidente de Colombia.

Objetivos específicos

Determinar las características de los llamados y cantos que emite *Pheucticus aureoventris* en zonas asociadas a Bosque Seco Tropical y Bosque altoandino.

Identificar diferencias entre los llamados y cantos de la especie en zonas asociadas a Bosque Seco Tropical y Bosque altoandino.

ANTECEDENTES

Dunham (1965), estudio el comportamiento de *Pheucticus ludovicianus* mediante observaciones de individuos cautivos, encontrando tres tipos de vocalizaciones: un canto (Phrased Warble) formado por 11 silabas con un promedio de frecuencias de 1,2 a 5 KHz (figura 1) y dos llamados cortos (figura 2).

Figura 1: Espectrograma del canto (phrased warble) de *Pheucticus ludovicianus*, grabado y analizado a una velocidad de 15 pulgadas por segundo.

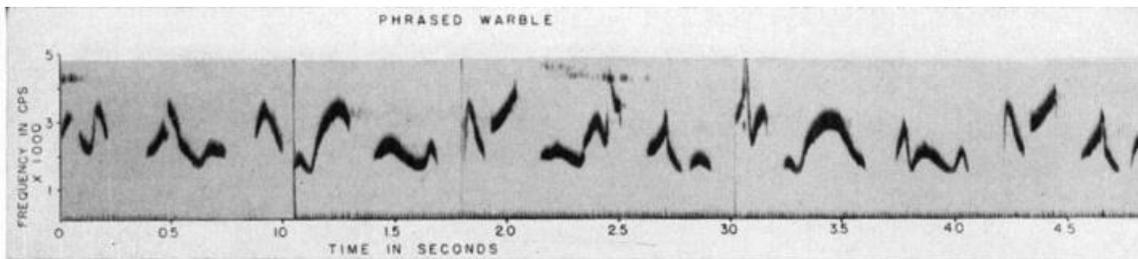
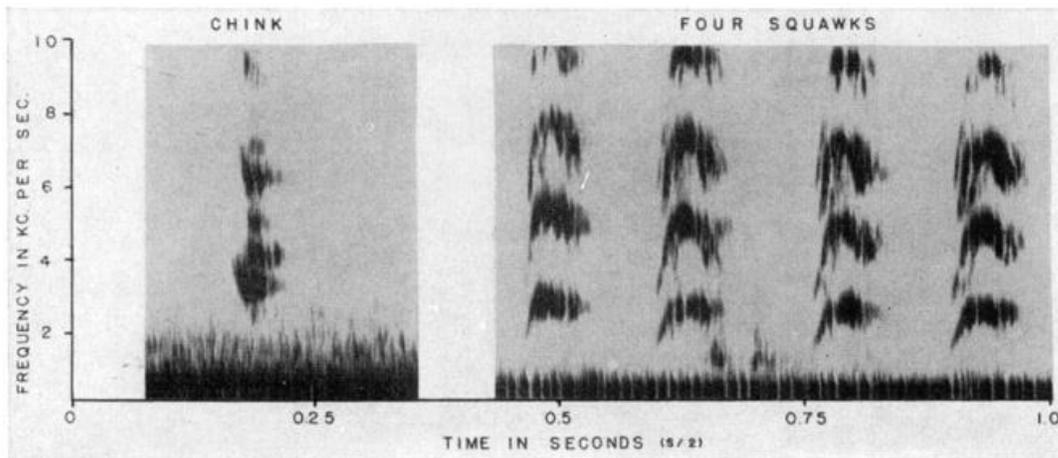


Figura 2: Espectrograma de los llamados (chink y squawk) de *Pheucticus ludovicianus*, grabado y analizado a una velocidad de 15 pulgadas por segundo

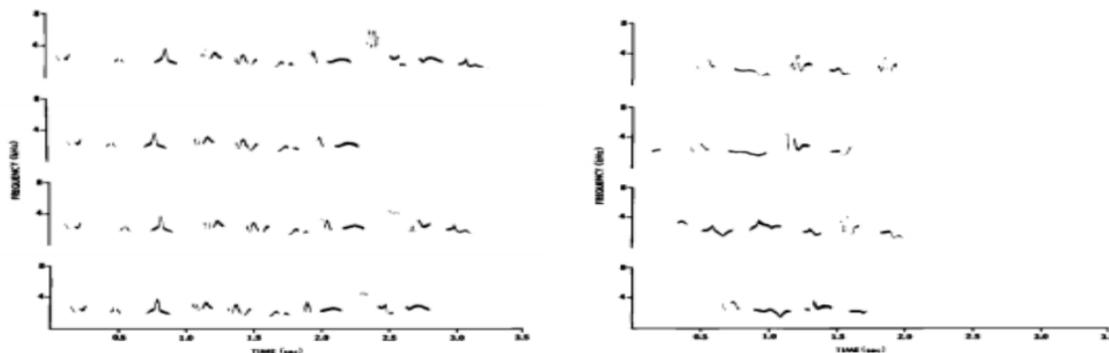


El autor relacionó los cantos con la defensa de los territorios contra machos de la misma especie, acompañado de conductas agresivas y ataques directos, observó que los machos

migrantes no producían cantos ni comportamientos agresivos. En este trabajo se reporta vocalizaciones realizadas por hembras de la especie como respuesta a los cantos de los machos y un Complejo “WHOI” de vocalizaciones utilizado únicamente entre los miembros de la pareja.

Ritchison (1983), estudio la función del canto de las hembras de *Pheucticus melanocephalus*, mediante observaciones de campo durante un año, encontró que las hembras cantan principalmente por defensa del territorio y para mantener el contacto con los machos, en este trabajo se reportó un comportamiento agresivo en las hembras el cual es poco usual. Una vez establecido el territorio, el comportamiento agresivo bajo progresivamente junto con las tasas de canto de los machos y la frecuencia de encuentros agonísticos intraespecíficos, los cantos de los machos presentaron en su mayoría ocho a diez sílabas, mientras que las hembras presentaron cinco sílabas (Figura 3).

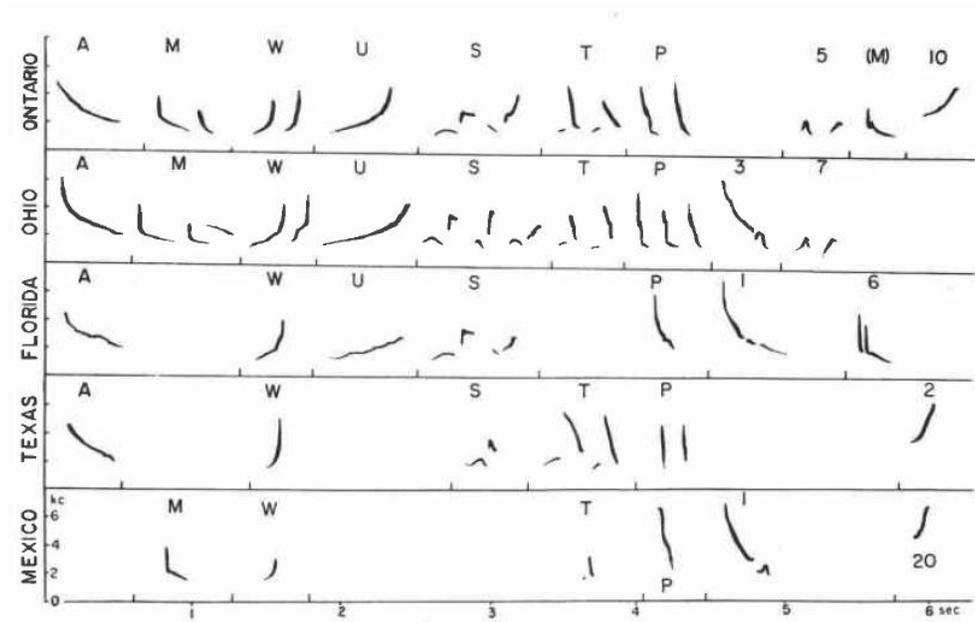
Figura 3: Sonogramas representativos de los cantos de *Pheucticus melanocephalus* macho



En este estudio también se evaluó la respuesta de las crías de *Pheucticus melanocephalus* a los cantos de sus padres y adultos cercanos, encontrando que los juveniles responden más activamente al llamado de sus padres, el autor identificó este aspecto como un sistema utilizado por la especie para mantener la cohesión del grupo familiar.

En el estudio de Lemon (1965), se determinó las variaciones en los cantos de 95 individuos de *Cardinalis cardinalis*, en localidades de Ontario, Ohio, Florida, Texas y México, el autor encontró de ocho a once tipos de cantos con ciertas sílabas ocurridas en más de una región, los cantos de localidades más alejadas presentaron mayor diferencia en cuanto composición y forma de las sílabas como se indica en la figura 4.

Figura 4: Ejemplo de las sílabas del canto de *Cardinalis cardinalis* ocurridas en cinco localidades de Norte América.



En el estudio de Tubaro & Lijtmaer, (2006), evaluaron las vocalizaciones de seis especies de *Saltators* y cinco especies de *Pheucticus*, desde Argentina hasta Canadá, y describen las diferencias encontradas en la estructura acústica de los cantos emitidos en bosques densos y áreas abiertas, los autores encontraron que los cantos de las especies de ambientes abiertos tuvieron un mayor ancho de banda y una mayor frecuencia máxima que los de especies de ambientes cerrados. Estos resultados son

compatibles con la hipótesis de adaptación acústica, que postula que la estructura del canto de las aves está adaptada al ambiente en el cual la señal es utilizada.

MARCO TEORICO

Comunicación animal

El estudio de la comunicación en animales gira en torno a la transferencia de información, una de las definiciones más generalizadas del concepto de comunicación, incluye cualquier método por el cual un animal influye sobre el comportamiento de otro, a través de la producción de una señal que induce respuestas en el sistema nervioso (Seyfarth, Cheney, Bergman, Fischer, Zuberbuhler, & Hammerschmidt, 2010; Stegmann, 2013), en este proceso interviene un sistema compuesto por un emisor de la señal, un medio transmisor y un receptor, el emisor genera información a través de una señal y esta se transmite por un medio hasta encontrar al receptor que capta el mensaje (Kaplan, 2014).

Varios estudios apoyan la hipótesis de que las señales que usan los animales codifican una gran cantidad de información y las respuestas de los receptores dependerán de la información adquirida (Manser, Seyfarth, & Cheney, 2001; Templeton, Greene, & Davis, 2005). Para ello existen diferentes canales de comunicación animal, donde se usan señales químicas, visuales, acústicas, eléctricas y táctiles, las cuales se manifiestan en diferentes contextos como cortejo, cooperación o agresión (Menini, 2010).

Se ha planteado, que la comunicación pudo haber evolucionado a través de la cooperación entre emisores y receptores, un ejemplo de cooperación son las señales de alerta que se dan entre individuos de la misma especie (Evans & Evans, 2007), mientras que la agresión se manifiesta en los conflictos territoriales o reproductivos, donde han evolucionado otro tipo de respuestas tanto visuales como acústicas. En ambos casos se requiere un alto costo energético, debido a diferentes exigencias que implica la comunicación; como la elaboración del

mensaje que se transmite, la forma en que se percibe y la reacción de los receptores (Catchpole & Slater, 2008).

Es importante mencionar que la diversidad de señales que usan los animales es muy amplia, cada señal ha convergido para adaptarse a transmitir la información de forma eficiente en un contexto social y ambiental dado. Por consiguiente, la forma de una señal se ve afectada por el tipo de hábitat en el cual debe transmitirse y la función social que cumple, por lo tanto, el proceso de comunicación en los animales involucra una detallada evaluación de las actividades tanto de receptores como de emisores y del diseño de la señal que se emite (White, Dalrymple, Noble, O'Hanlon, Zurek, & Umbers, 2015).

Comunicación vocal

En animales vertebrados la audición se desarrolló como una adaptación a mecanismos de percepción vibratoria; esta capacidad les proporcionó un medio para rastrear presas o escapar de los depredadores y favoreció la supervivencia. Posteriormente la utilizaron como medio de comunicación (Arch, Collado, & Morales, 2004)

La comunicación vocal utiliza los sonidos como señales, el sonido puede transmitirse a través de largas distancias, penetrar entre la vegetación y percibirse tanto de día como de noche (Catchpole & Slater, 2008), sin embargo, factores como cambio de los niveles de ruido, humedad relativa, viento y estructura de la vegetación pueden tener un impacto negativo en la eficacia de la transmisión de las señales acústicas, en consecuencia las especies han tenido que modificar algunas características de sus vocalizaciones, como una forma de adaptación a esos ambientes (Brumm, 2006; Brumm & Naguib, 2009)

La ventaja del canal del sonido es que las señales sonoras pueden adaptarse a una amplia variedad de condiciones ambientales y situaciones de comportamiento, en este sentido, los sonidos pueden variar sustancialmente en amplitud, duración y frecuencia dependiendo de la especie e incluso de los individuos (Alcock, 2009), estas características brindan una especial importancia a la comunicación vocal en aves y otros grupos como insectos, anfibios, mamíferos marinos y terrestres. Cabe resaltar que la transmisión de señales acústicas desde el receptor hasta el emisor requiere un gasto energético muy alto (Niven & Laughlin, 2008), por esta razón una señal acústica sólo se produce cuando es necesario y contiene gran cantidad de información que se transmite con rapidez y eficacia a través del canal de sonido.

El sonido

El sonido es un fenómeno vibratorio, que puede entenderse como una variación de la presión en un medio elástico (líquido, gaseoso, sólido) los cambios de presión se dan por cambios en la densidad del medio, una fuente sonora hace que las moléculas de aire oscilen alrededor de sus posiciones de equilibrio, estas moléculas chocan con otras próximas haciéndolas oscilar, y por tanto propagando la onda sonora, las vibraciones son transmitidas mediante el aire hacia el tímpano (Tipler & Mosca, 2005).

El sonido es de carácter ondulatorio, las ondas sonoras son mecánicas ya que hay vibración de las moléculas en un medio, son longitudinales debido a que las partículas se desplazan en la misma dirección de propagación de la onda y tridimensionales porque la perturbación llega a cualquier punto del espacio (Wilson & Buffa, 2003).

Es posible describir las ondas sonoras mediante un movimiento armónico simple, para describir este desplazamiento se usa la siguiente ecuación:

$$f(x) = A \cos(kx - \frac{2\pi}{T} t)$$

Dónde:

A es el desplazamiento máximo a la derecha o izquierda de la posición de equilibrio.

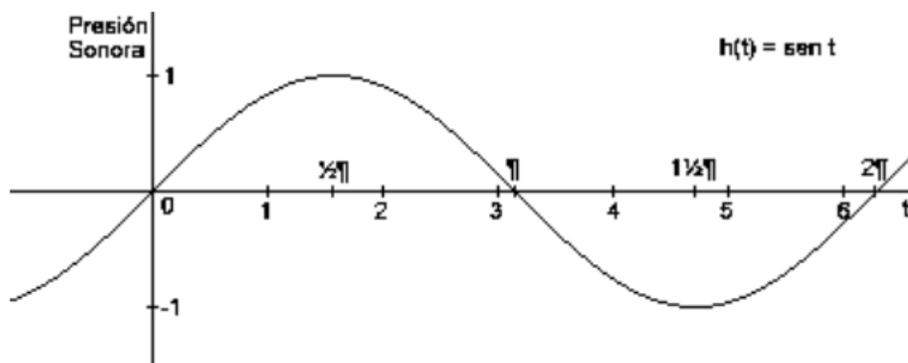
k es el módulo de compresibilidad (relaciona el cambio de presión con el cambio relativo de densidad del medio).

T es el periodo de oscilación

t es el tiempo que tarda la partícula en comenzar su vibración.

El desplazamiento de la onda descrito en la ecuación anterior implica una onda de presión dada por aumentos y enrarecimientos de densidad y presión de aire, en la figura 5 los cambios de presión se observan perpendiculares al desplazamiento, a medida que se propaga la onda dibuja una función seno o coseno (Jaramillo, 2007; Moser & Barros, 2009)

Figura 5: Ejemplo de onda sinusoidal. (Fuente: (Jaramillo, 2007).



La Figura 5 muestra un ejemplo de onda sinusoidal formada por la vibración de un sonido puro simple, donde se observa un máximo de presión sonora o densidad de partículas en 1 y un mínimo en -1, la vibración se completa en el punto 2π .

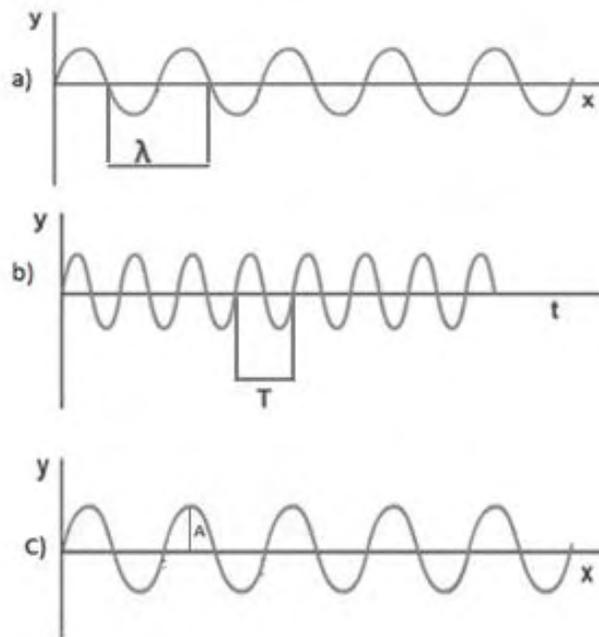
Características y propiedades del sonido.

Longitud de onda.

Es la distancia entre dos partículas que se encuentran en fase consecutiva o entre dos crestas de onda (figura 6a), se mide en unidades de distancia y se representa con la letra griega λ .

La velocidad del sonido está relacionada con la longitud de onda λ , los llamamos sonidos graves son sonidos de vibraciones lentas, con longitudes de onda mayores y los agudos se forman por vibraciones rápidas y longitudes de onda cortas (Moser & Barros, 2009).

Figura 6: Ejemplos de longitud de onda, periodo y frecuencia de una onda, donde se indica: a) representación gráfica de la longitud de onda λ en función del desplazamiento x . b) T es el periodo de la vibración de la fuente de sonido y de cualquier partícula del medio, está dada en función del tiempo, c) es la amplitud de onda en función de x que representa la posición de equilibrio de las partículas del medio. (Fuente: (Jaramillo, 2007).



Frecuencia.

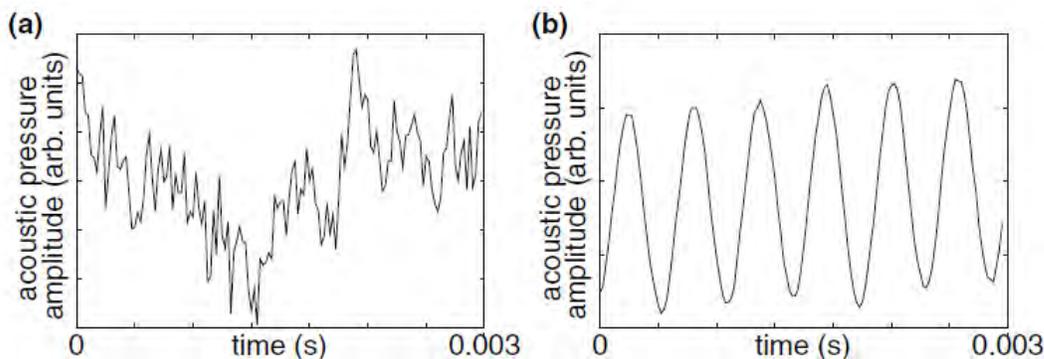
La frecuencia está determinada por el número de oscilaciones o ciclos que ocurren en una unidad de tiempo, la unidad en que se expresa es el Hertzio (Hz), que corresponde a una oscilación de un ciclo en un segundo (Wilson & Buffa, 2003).

$$f = \frac{1}{T}$$

Donde T es el periodo de onda (figura 6b), e indica el tiempo que tarda en efectuarse una vibración completa. Los valores de frecuencia determinan el tono de un sonido, un sonido agudo corresponde a frecuencias más altas mientras que un sonido grave a frecuencias menores, en general se han determinado los siguientes valores para designar los tonos: sonidos graves: 20 a 256 Hz, sonidos medios de 256 a 2.000 Hz y sonidos agudos de 2.000 a 16.000 Hz.

Una onda de sonido muy irregular (figura 7a), se va a escuchar como ruido, en contraste, cuando la onda de sonido es regular o periódica (figura 7b), el oído es capaz de reconocer un sonido agradable (Raichel, 2006)

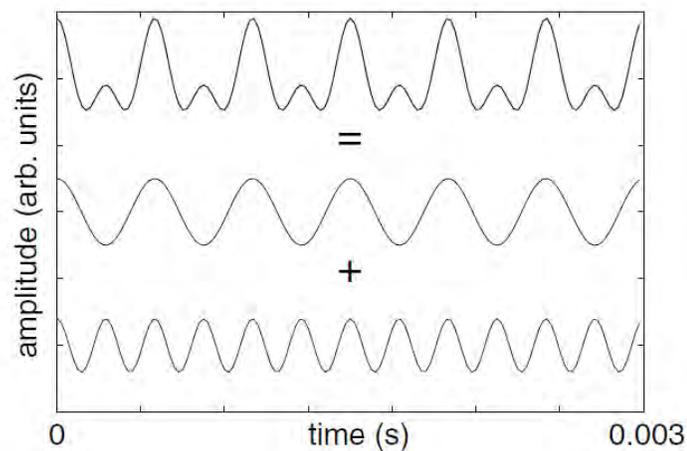
Figura 7: Ondas de sonido regular e irregular de una grabación en la ciudad (a) y una onda de sonido regular o periódico del canto de una mirla (b). Fuente: (Mindlin & Laje, 2005).



Ondas sonoras complejas

La mayoría de señales sonoras, no son ondas sinusoidales simples, si no que están formadas por ondas sonoras complejas, compuestas por la superposición de ondas simples (figura 8), en esencia, toda onda repetitiva formada por más de una onda sinodal relacionada armónicamente, es una onda periódica compleja (Jaramillo, 2007)

Figura 8: Componentes de una onda compleja. (Fuente: (Mindlin & Laje, 2005).



En la figura 4, la onda de arriba no representa una oscilación simple, debido a que es la suma de los dos componentes de abajo, los componentes se enumeran en orden decreciente de periodo, el periodo de la onda compleja es igual al periodo del primer componente (Mindlin & Laje, 2005).

Para determinar las ondas simples que componen una onda compleja se aplica la función matemática conocida como la Transformada Rápida de Fourier (FFT), la cual se basa en descomponer una onda compleja en la suma de ondas sinusoidales simples definidas por unos determinados valores de amplitud y frecuencia (Wilson & Buffa, 2003), en la siguiente ecuación se indica las series de Fourier.

$$\begin{aligned}
 f(t) = & a_0 + a_1 \cos(\omega_1 t) + b_1 \text{sen}(\omega_1 t) \\
 & + a_2 \cos(2\omega_1 t) + b_2 \text{sen}(2\omega_1 t) \\
 & + \dots \\
 & + a_n \cos(n\omega_1 t) + b_n \text{sen}(n\omega_1 t) \\
 & + \dots,
 \end{aligned}$$

Donde a_n y b_n corresponden a valores específicos de amplitud y $n\omega_1$ corresponde a los valores de frecuencia de cada componente $2\pi F_n$.

En las ondas complejas se denomina frecuencia fundamental o dominante al menor valor de frecuencia que integra un sonido, los demás componentes se conocen como armónicos (figura 9) (Moser & Barros, 2009).

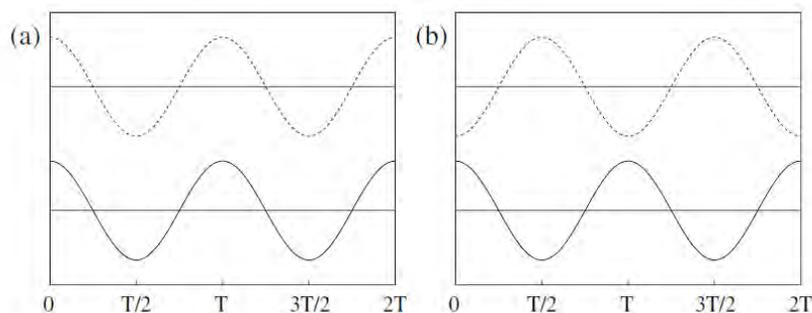
Frecuencia fundamental.

Es la frecuencia más baja y con mayor valor de presión sonora o mayor concentración de energía dentro de la distribución armónica de un sonido (Mindlin & Laje, 2005).

Armónicos.

Son el resto de componentes u ondas sinusoidales simples que se encuentran por encima de la frecuencia fundamental y son múltiplos de la frecuencia fundamental (Mindlin & Laje, 2005)

Figura 9: Oscilaciones armónicas. Fuente: (Mindlin & Laje, 2005)

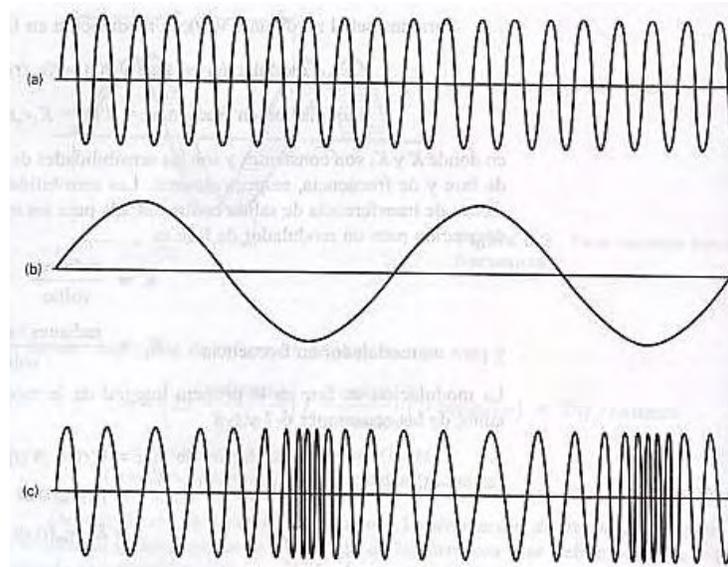


En la figura 9, se indica a): las oscilaciones armónicas en fase, donde la onda superior forma un armónico de la onda inferior, debido a que alcanzan un máximo y un mínimo en el mismo tiempo y b): las oscilaciones armónicas que no están en fase, por lo tanto la onda superior no es un armónico de la inferior (Mindlin & Laje, 2005).

Modulaciones de frecuencia

Consiste en variar la frecuencia de una onda portadora proporcionalmente a la frecuencia de una onda moduladora, mientras su amplitud permanece constante, como se indica en la figura 10.

Figura 10: Modulaci3n de frecuencia. Fuente: (Jaramillo, 2007).



En la figura 10 se muestra la modulaci3n de frecuencia de una onda portadora, por una se1al de onda seno, donde: a) onda portadora sin modular, b) se1al modulante y c) onda con frecuencia modulada. La frecuencia de la onda portadora va a oscilar m1s o menos r1pidamente,

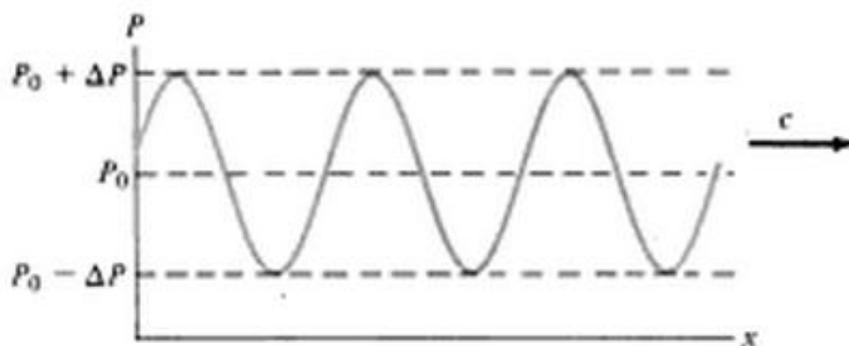
según la frecuencia de la onda moduladora, el grado de variación de la onda dependerá del índice de modulación (Moser & Barros, 2009)

Amplitud.

La amplitud de una onda sonora está relacionada con el enrarecimiento o la compresión de las partículas de aire, gráficamente los puntos con mayor densidad de partículas se observan como un máximo y los puntos de menor densidad como un mínimo en relación a una posición de equilibrio (figura 6c), cuanto mayor es la amplitud de la onda, el sonido es más fuerte. La amplitud se puede determinar midiendo la distancia de desplazamiento de las moléculas del aire o la diferencia de presiones (Tipler & Mosca, 2005).

La amplitud de onda brinda la característica del sonido denominada intensidad, que es el flujo medio de energía transportado por unidad de área y tiempo, es perpendicular a la dirección de propagación y se mide en potencia/área, esta, va a disminuir o aumentar conforme la distancia de la fuente, la intensidad es directamente proporcional a la amplitud de la onda y es determinada por el nivel de presión sonora (SPL), la presión sonora o acústica viene dada por la diferencia de presión que genera la onda de sonido sobre las partículas del aire que se desplazan con respecto a su presión de equilibrio (figura 11) (Raichel, 2006; Jaramillo, 2007)

Figura 11: Presión en función de la posición P_0 que es la presión de equilibrio. La perturbación inicial causa cambios en la densidad y la presión (Δp) que se desplazan en la dirección x con velocidad c . fuente: (Jaramillo, 2007)



La cualidad que permite distinguir entre sonidos fuertes o débiles es la sonoridad y se mide en decibelios (dB), estos, son la décima parte de un belio (B), que es el logaritmo de la relación entre la magnitud de interés y la de referencia. En Acústica, el decibelio se asocia con el nivel de presión sonora, ya que la mayoría de los equipos de medida responden a la presión sonora, e indica el cociente entre dos presiones o amplitudes sonoras (Moser & Barros, 2009).

Timbre

La frecuencia fundamental y los armónicos brindan una estructura diferente a cada sonido, denominada timbre, es posible diferenciar un timbre por variaciones en la amplitud, el número o la distribución de los armónicos. El timbre permite diferenciar, dos sonidos de igual frecuencia fundamental e intensidad, se refiere al “color” o calidad de los sonidos, la distribución y la variación temporal de la energía espectral, proveen los determinantes acústicos de la percepción de la calidad sonora (Wessel, 1979).

Comunicación vocal en aves

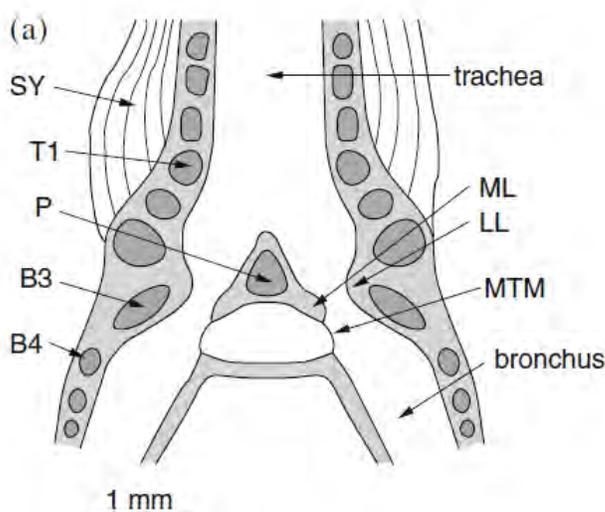
El oído externo de las aves aún conserva características de su grupo predecesor siendo similar al de los cocodrilos (Popper & Fay, 1997), sin embargo, en las aves se dio la aparición de estructuras telencefálicas y un mayor desarrollo de vías auditivas, esto influyó en la producción de vocalizaciones y cantos (Amador, Goller, & Mindlin, 2008).

Los sonidos que producen las aves se clasifican en no vocales o sonidos mecánicos, producidos por golpes con el pico en el caso de carpinteros o por adaptaciones de las plumas. Mientras que los sonidos vocales se producen a través de la siringe, cuya morfología y ubicación varía entre especies (King, 1988).

Los cantos y llamados son producidos por flujo de aire a través de las membranas vibrantes de la siringe, en aves canoras esas membranas están ubicadas en cada bronquio en la bifurcación de los anillos cartilagosos de la tráquea, por lo tanto, la siringe funciona mediante la interacción de dos sistemas motores: los músculos que controlan la siringe y los músculos respiratorios (Suthers, *Peripheral vocal mechanisms in birds: are songbirds special?*, 2001), la siringe está constituida por membranas timpaniformes, músculos y el sistema de sacos aéreos, en oscines cobra importancia el desarrollo de las membranas timpaniformes laterales, brindando características únicas a esta cavidad acústica (Amador, Goller, & Mindlin, 2008).

Los elementos funcionales de la siringe son dobles (figura 12), existe un conjunto de estructuras para cada bronquio primario, estos elementos son controlados por el ave con el fin de crear una amplia gama de sonidos, y algunos músculos de cada lado de la estructura, reciben instrucciones de una manera independiente, lo que permite al ave producir sonidos utilizando ambas fuentes, ya sea de forma simultánea o sucesiva, proporcionando sonidos con una alta variedad de características espectrales (Mindlin & Laje, 2005).

Figura 12: Sección ventral de la siringe de oscines (Fuente: Larsen y Goller, 2002).



Dónde:

LL, ML, labios lateral y medial
 MTM, membrana timpaniforme medial
 T1, primer anillo traqueal;
 B3, B4, tercero y cuarto anillos
 bronquiales
 P, pessus osificado
 SY, músculos de la siringe

El desarrollo del canto en las aves es uno de los aspectos más estudiados dentro de la conducta animal, las diferentes investigaciones han puesto de manifiesto que los patrones del comportamiento vocal no obedecen únicamente a procesos innatos o aprendidos sino que surgen a través de una intrincada interacción entre estos dos mecanismos (Baptista, 1996; Marler P. , 2004).

El canto de un pájaro es uno de los fenómenos acústicos más ricos que se encuentran en la naturaleza, típicamente, tienen una estructura compleja y variada, y están dentro el rango de audición de los seres humanos (Lesley & Kaplan, 2000).

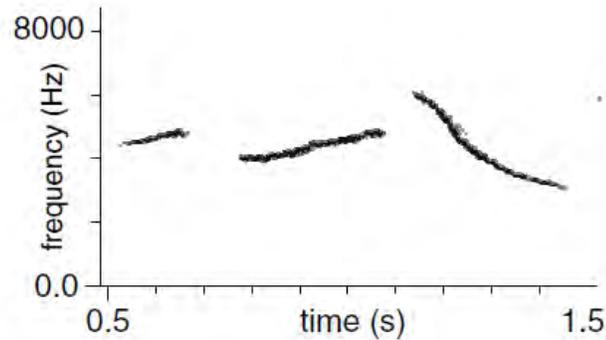
Estructura de las vocalizaciones

Silabas

Las sílabas se construyen a partir de una serie de notas o elementos individuales cada ave puede ejecutar varias silabas por segundo que se combinan y forman cantos o llamados, (figura 14), (Catchpole & Slater, 2008).

La configuración de los armónicos, la duración o los rangos de frecuencia van a variar entre silabas, y la característica más notable está relacionada con el cambio en el comportamiento vibratorio dentro de una sílaba, es decir, el cambio en la frecuencia fundamental de las oscilaciones labiales o las modulaciones de frecuencia, como se observan en la figura 13, donde una modulación de frecuencia en el último elemento oscila desde los 3000 a los 5000 Hz (Mindlin & Laje, 2005).

Figura 13: Silaba del canto de *Zonotrichia capensis*. Fuente: (Mindlin & Laje, 2005).



El proceso de modulación de frecuencia se encuentra en sistemas de comunicación artificiales y naturales, las modulaciones de frecuencia son las que le brindan al canto su calidad sonora y se dan en las aves mediante vibraciones de la membrana timpaniforme interna (MTI) y el labio externo (LE); la parte más delgada de la MTI vibra más rápidamente durante la producción de un sonido y probablemente es la que proporciona la frecuencia fundamental más alta o la frecuencia portadora en la sílaba del canto, mientras que el LE posee una mayor masa y no vibra tan rápido, por lo que es responsable de frecuencias más bajas. Estas vibraciones pueden darse a través de los dos canales de la siringe (Stein, 1968; Suthers & Zollinger, 2004)

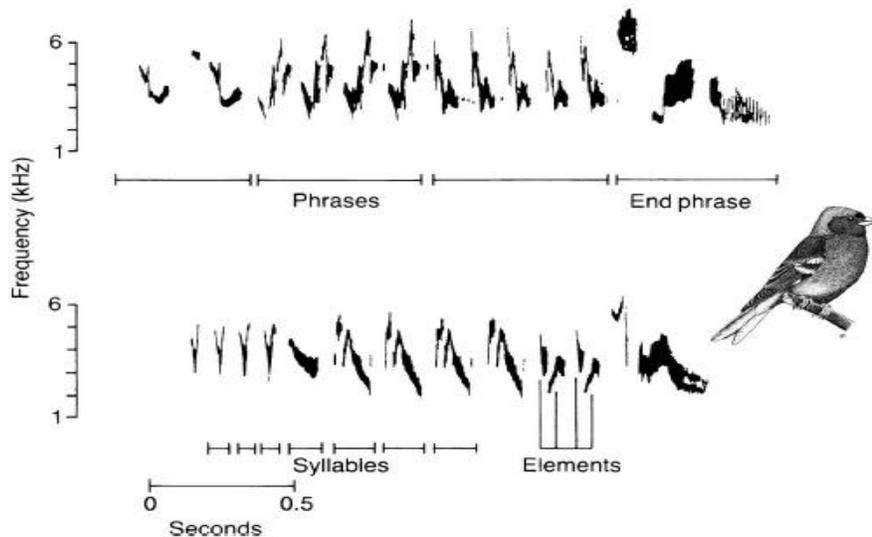
Las sílabas suelen repetirse varias veces y están separadas por silencios, los cuales son espacios entre sílabas que se utilizan para hacer mini-inspiraciones necesarias para ejecutar los cantos, una rica diversidad de sílabas puede ser generada por un simple cambio de la respiración cíclica y gestos de la siringe (Kroodsma & Miller, 1996).

Llamados

Un llamado o reclamo suele ser una breve y sencilla vocalización compuesta por una sílaba o varias sílabas las cuales son emitidas por machos, hembras o juveniles, y poseen una amplia gama de funciones, como la señalización de la comida, el mantenimiento de la cohesión social, las llamadas de contacto, la sincronización y coordinación de vuelo, y la resolución de conflictos agresivos y sexuales (Catchpole & Slater, 2008).

Las aves pueden presentar de cinco a veinte llamados distintos y los no Paseriformes poseen un mayor repertorio de llamados. El uso de llamados a menudo indica dimorfismo sexual y la frecuencia varía estacionalmente o con el estado fisiológico. La mayoría de los llamados parecen ser innatos, pero también están sujetos a presentar variaciones y adaptaciones (Marler, 2004).

Figura 14: Elementos, sílabas y frases del canto de un Paseriforme. (Fuente: Slater, 1999).



Cantos

Un canto tiende a ser una vocalización larga y compleja producida durante la temporada de reproducción o para defensa del territorio, en los cantos las sílabas se presentan formando un patrón reconocible (figura 14), donde se observa espacios de silencio secuenciales

(Catchpole & Slater, 2008). Los cantos son una característica representativa de los Paseriformes, los repertorios vocales en estas aves generalmente están constituidos por vocalizaciones que son aprendidas durante alguna etapa de su vida, el aprendizaje de los cantos consta de dos etapas: una sensorial y la otra sensorial y motora; en la primera, el ave escucha y memoriza el patrón del canto que será copiado los primeros días de vida; después de unos meses surge el canto del adulto, el cual se va perfeccionando poco a poco (Kroodsma & Miller, 1996; Marler & Slabbekoorn, *Nature's Music. The Science of Birdsong*, 2004)

El repertorio de las aves se define como: todos los cantos diferentes realizados por un individuo, los pájaros suboscines, como los tiránidos, tienen repertorios formados por pocos cantos, mientras que los oscines con su capacidad de aprender los cantos, han desarrollado repertorios con un gran número de vocalizaciones.

El tamaño del repertorio vocal en las aves, podría estar relacionado con el hecho de que las hembras responden mejor a repertorios vocales más amplios, debido a que los machos con amplios repertorios tienen mayor cantidad de testosterona, ocupan un territorio más extenso y son capaces de defender más recursos para alimentar a las crías (Geberzahn & Hultsch, 2004). Asimismo, se ha reportado que los individuos con amplios repertorios han logrado sobrevivir por más tiempo, ya que algunas especies son capaces de copiar cantos de otros individuos, y de esta forma incrementar sus repertorios a través de los años (Beecher & Brenowitz, 2005; Botero, Mudge, Koltz, Hochachka, & Vehrencamp, 2008).

Bioacústica

La bioacústica consiste en el estudio de las señales sonoras que forman parte del sistema de comunicación de los animales. Desde que se dio la invención del espectrógrafo fue

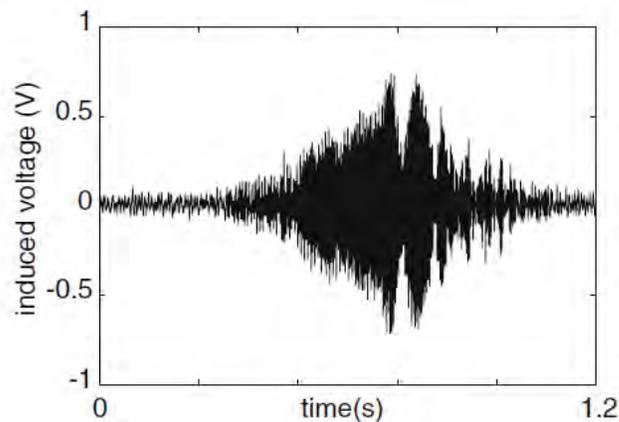
posible medir gráficamente el sonido y posteriormente detallar la complejidad estructural de los cantos (Tubaro, 1999; Caycedo, Ruiz, & Orozco, 2013).

La disciplina se ha desarrollado notablemente a partir de la segunda mitad del siglo XX, gracias a la tecnología de sistemas digitales, ya que los datos adquiridos se pueden transmitir, procesar y analizar usando herramientas computacionales lo que ha facilitado la investigación del comportamiento vocal de la avifauna (Tubaro, 1999).

Oscilogramas

Al analizarse los sonidos capturados mediante un micrófono, se obtiene una onda compleja cuya representación gráfica se denomina oscilograma, la onda compleja va a estar compuesta de varias ondas sinusoidales simples y representa las variaciones de presión que ejercen las ondas sonoras sobre el sistema de detección del micrófono a lo largo del tiempo, como se observa en la figura 15 (Obrist, Pavan, Sueur, Riede, Llusia, & Márquez, 2010).

Figura 15: Representación de un oscilograma, donde se observa los valores de voltaje a través del tiempo en una onda de sonido, Modificado de (Mindlin & Laje, 2005).



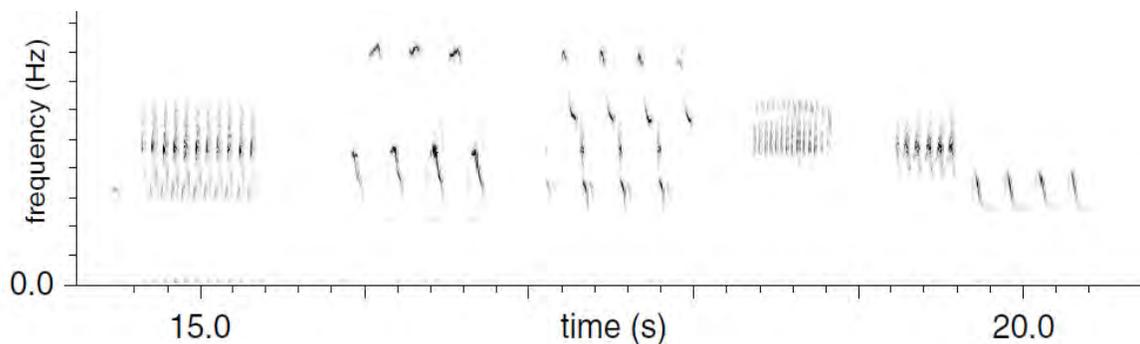
Sonogramas

Son las

representaciones que se obtienen al realizar la transformación de una señal acústica en un

espectro de frecuencia en función del tiempo (figura 16). El Sonograma se obtiene mediante la Transformada rápida de Fourier FFT que permite calcular las ondas que constituyen el espectro de frecuencia (Caycedo, Ruiz, & Orozco, 2013). Los sonogramas permiten mostrar las características de las señales de forma gráfica, se representan los valores de frecuencias y tiempo, la intensidad del sonido es representada en la tercera dimensión mediante un código de colores o de intensidad del trazado (Tubaro P. , 1999), a través de los sonogramas es posible hacer comparaciones entre las diferentes señales acústicas.

Figura 16: Sonograma de un canto de ave, donde se observa los trazos que forman diferentes vocalizaciones Fuente: (Mindlin & Laje, 2005).



Familia Cardinalidae

Es una familia de aves del orden Paseriformes que habita en Norte y Suramérica, actualmente se reconocen 11 géneros y 42 especies. Su distribución abarca desde Canadá hasta Chile y Argentina, su área de mayor diversidad se extiende desde el suroccidente de Estados Unidos hasta el norte de Suramérica y el occidente de los Andes, se caracterizan por tener un pico relativamente grueso, que les sirve para alimentarse de frutos y semillas, se asocian típicamente a zonas abiertas y bordes de bosque, aunque también habitan bosque lluviosos de la Amazonía, bosques de los Andes, matorrales semiáridos, bosques de zonas templadas y sabanas

(Gutierrez, Mueses, Ramirez, & Perdomo, 2013; Del Hoyo, Elliott, Sargatal, Christie, & De Juana, 2014)

La mayoría de especies presentan dicromatismo sexual, los machos poseen coloraciones brillantes mientras que las hembras usualmente son más pálidas. Entre las características más atractivas de esta familia se encuentran los cantos, la mayoría de las especies emiten cantos musicales que consisten en una serie de frases silbadas y a menudo presentan amplios repertorios vocales. Algunos de ellos son migratorios latitudinales y la mayoría realizan movimientos locales (Del Hoyo, Elliott, Sargatal, Christie, & De Juana, 2014).

El género *Pheucticus*

El género *Pheucticus* se compone de 6 especies distribuidas a lo largo de América, desde Argentina hasta Canadá, las especies de éste género se encuentran típicamente asociadas con bosque montano y borde del bosque, las dos especies que habitan Sur América son más comunes en hábitats secos o semi-áridos y tales hábitats pueden estar escasamente distribuidos a lo largo de su área de distribución. La alta movilidad demostrada por los miembros de este género ha permitido la conectividad entre las poblaciones (Fjeldsa & Krabbe, 1990; Pulgarin, Smith, Bryson, Spellman, & Klicka, 2013).

Los representantes de este género poseen un comportamiento vocal muy activo, en especies como *Pheucticus ludovicianus* y *Pheucticus melanocephalus* se ha relacionado el canto con su comportamiento territorial y rituales complejos de apareamiento (Dunham, 1965; Kroodsma, 1974) Las características del canto de las diferentes especies de *Pheucticus* son muy similares, generalmente presentan un canto melodioso, con frecuencias que oscilan entre los 1500 y 4500 Hz (Ritchison, 1988).

Pheucticus aureoventris

Pheucticus aureoventris se caracteriza por tener un pico robusto y negro, las partes superiores, cabeza, garganta y pecho son de color negro, mientras las partes inferiores son amarillas. Presentan dos barras alares blanco opaco, un parche amarillo en hombros y puntos amarillos en rabadilla (figura 17). Las hembras son de coloración similar pero presentan coloración café y moteada de ante por encima, presenta dos barras alares blanco opaco, amarillenta en las partes inferiores, garganta y pecho moteadas de negro, a menudo la coloración negra de la cabeza de los machos se asocia con altos niveles de testosterona y aumento de la agresión (Hilty & Brown, 2001; Jawor & MacDougall, 2008)

La especie se distribuye desde el noreste de Venezuela por la cordillera de los Andes hasta el norte de Argentina, desde los 1700 hasta 3000 metros de altitud, en Colombia se encuentra en las tres cordilleras y la región Andina del Departamento Nariño, esta especie es común en bordes de bosque, en pendientes abruptas y en áreas cultivadas con árboles y matorrales pequeños (Hilty & Brown, 2001; Brewer & De Juana, 2014).

Generalmente se observan individuos solitarios o en parejas; se pueden observar varios individuos en arbustos con frutos en los cuales obtienen el alimento utilizando diferentes estrategias para acceder a diferentes tamaños de fruto, esta plasticidad ecológica le permite la coexistencia con especies que utilicen los mismos recursos, también es una especie generalista que utiliza diferentes recursos y diferentes tipos de hábitat lo que disminuye la competencia con otras especies, emite un canto armónico y melodioso desde las perchas altas y una llamada abrupta similar a la de otros *Pheucticus* (Hilty & Brown, 2001).

Figura 17: Individuo macho de *Pheucticus aureoventris*, (Fotos: Legarda L, y Merchancano O., 2015).

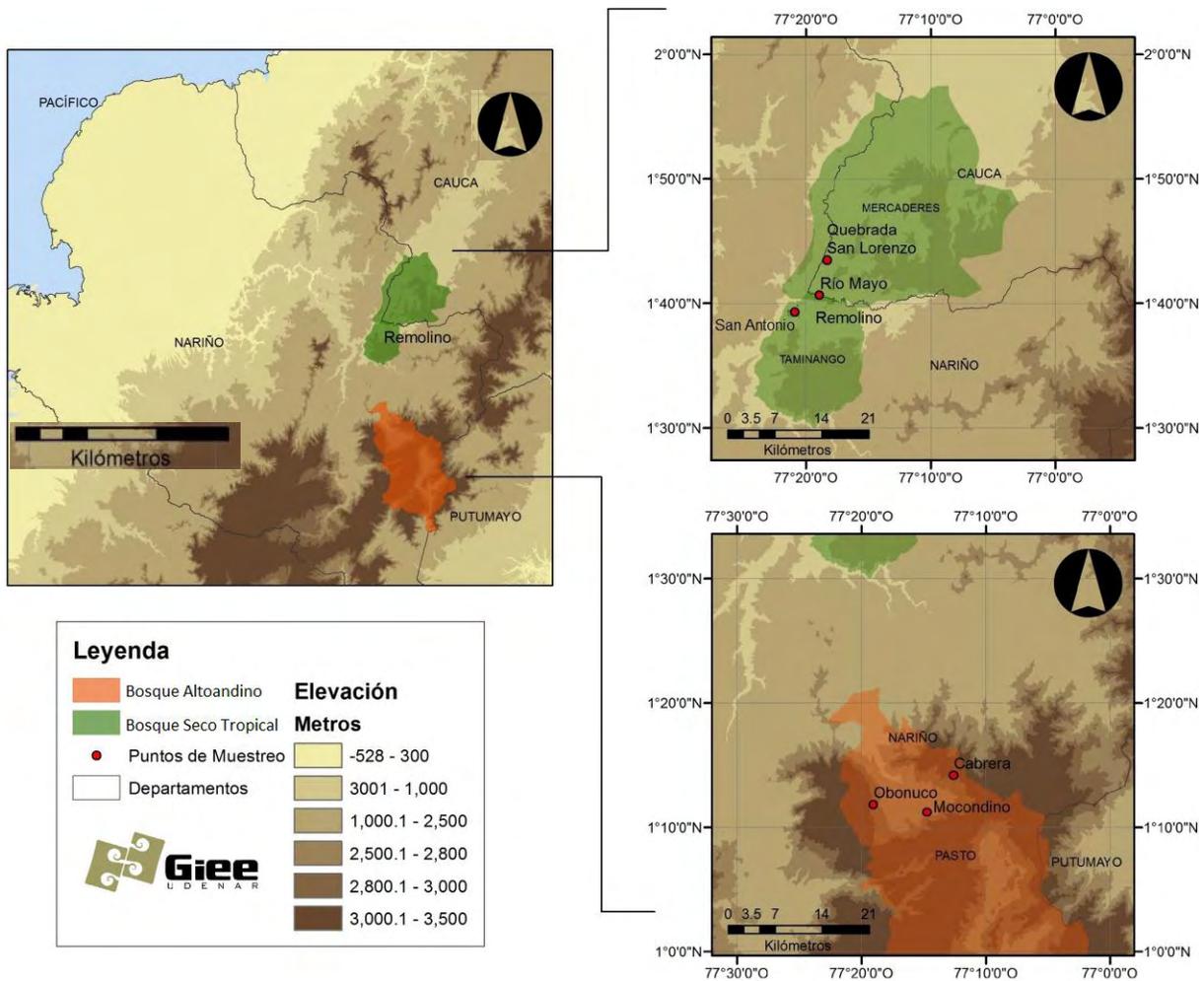


MATERIALES Y METODOS

Ubicación del área de estudio

El estudio se realizó en zonas asociadas a bosque seco tropical y bosque altoandino en los departamentos de Nariño y Cauca al suroccidente de Colombia (Figura 18).

Figura 18: Ubicación de las áreas de estudio, en los municipios de Pasto, Taminango y Mercaderes. Fuente: este estudio.



Descripción del área de estudio

Zonas asociadas a Bosque Altoandino

Las localidades de muestreo se encuentran en el municipio de Pasto (figura 18), ubicado al suroccidente del país en el Nudo de los Pastos, el cual presenta un paisaje

montañoso, con profundos valles fluvio-volcánicos generalmente de sección transversal en “V” y aluvio-glaciales en “U”, con gran influencia tectónica y volcánica. El clima es frío a extremadamente frío, presenta zonas planas de origen tectónico con formaciones geomorfológicas de origen volcánico (Riaño, Lasso, Martínez, Delgado, Ramos, & Muñoz, 2004) .

Estas zonas se caracterizan por presentar relictos de bosque altoandino en las partes medias y altas de las montañas, estos bosques generalmente presentan un sotobosque muy denso, con dominio de epifitas como bromelias y orquídeas, es común la presencia de especies vegetales como *Weinmannia sp*, *Oreopanax sp*, *Cedrela sp*, *Ficus sp* y *Ocotea sp*, la humedad es muy alta durante todo el año y se encuentran numerosas quebradas (Gutiérrez & Rojas, 2001).

Sin embargo, este estudio se llevó a cabo en las partes bajas de las montañas donde existen asentamientos humanos y en la mayor parte del territorio se encuentra zonas de cultivos, principalmente de maíz (*Zea mays*) que ocupa alrededor de un 50 %, seguido por papa (*Solanum tuberosum*), cebolla (*Allium fistulosum L*), arveja (*Pisum sativum*), haba (*Vicia faba*) y cultivos mixtos de legumbres que se encuentran en menor proporción, las especies arbóreas dominantes son; eucalipto (*Eucalyptus globulus*) y aliso (*Alnus acuminata*) seguidas de cedro blanco (*Cedrela montana*), Pino (*Pinos Pátula*), quillotocto (*Tecoma stans*) y sauco (*Sambucus peruviana*) que se observan como individuos aislados alrededor de los cultivos.

Los puntos de grabación se ubicaron en los siguientes corregimientos (19):

Obonuco, donde se grabó en los alrededores de la Quebrada Mijitayo, a una altura de 2910 msnm, con coordenadas N 1° 11' 49,98" y W 77° 19' 01,75" con una precipitación promedio anual de 840 mm, y una temperatura promedio de 13°C.

Cabrera donde se grabó en las cercanías del Cerro San Miguel ubicado a 2873 msnm, con coordenadas N 1° 14' 10,8" y W 77° 12' 34,89" con una precipitación promedio anual de 830 mm, y una temperatura promedio de 12°C.

Mocondino, ubicado a 2767 msnm, con coordenadas N 1° 11' 13,00" y W 77° 14' 43,76" con una precipitación promedio anual de 850 mm, y una temperatura promedio de 12°C.

Figura 19: Localidades de las zonas asociadas a Bosque Altoandino, A) Obonuco, B) Cabrera y C) Mocondino Fotos: Legarda, 2015.



Zonas asociadas a Bosque Seco Tropical

Estas zonas están localizada en los municipios de Taminango y Mercaderes (Figura 14), en el enclave subxerofítico del Patía, se trata de zonas de relieve fuertemente escarpado, con formaciones de origen volcánico, influenciado por la presencia del complejo volcánico Doña Juana con un clima cálido seco. Esta zona corresponde al Gran Bioma de Bosque Seco Tropical, específicamente al zonobioma tropical alternohigrico (Hernández & Sánchez, 1992). Este ecosistema presenta una temperatura media anual superior a 17 °C, la precipitación total se encuentra en un intervalo que va desde los 1.000 a 2.000 mm anuales, llegando a 300 mm en la época más seca (Holdridge, 1967; Murphy & Lugo, 1986).

El ecosistema se caracteriza por poseer especies con importantes estrategias adaptativas, como respuesta a la estacionalidad climática (Murphy & Lugo, 1986), la zona se encuentra dominada por las familias vegetales Fabaceae, con especies como *Mimosa sp*, *Peltogyne sp*, *Senna pallida*, Malvaceae, con representantes del genero *Sida*, Cactaceae con especies de *Opuntia*, Apocynaceae y Capparaceae, tanto del estrato arbóreo como del sotobosque. En las áreas de sucesión temprana puede encontrarse el dominio de *Lippia origanoides* y *Stenocereus sp*. También se encuentra zonas de cultivos frutales y grandes pastizales.

Las grabaciones se realizaron en los siguientes puntos (figura 20).

Vía Remolino - San Antonio, a una altura de 511 msnm, con coordenadas N 1° 40'33,87" y W 77° 20'17.34".

Límites entre Cauca y Nariño sobre la rivera del Rio Mayo, a 525 metros de altitud, con coordenadas N 1° 40'40,51" y W 77° 18'54.17".

Quebrada Lorenzo, a una altura de 537 msnm y coordenadas N 1° 43'29,44" y W 77° 18'18,65.

Figura 20: localidades de zonas asociadas a Bosque Seco Tropical, A) Rio Mayo, B) San Antonio y C) Quebrada Lorenzo, Foto: Merchancano, 2015.



Grabaciones

Se realizaron grabaciones desde Febrero hasta Agosto del 2015, mediante recorridos libres a lo largo de las zonas de estudio se detectó los sitios de preferencia de la especie y se procedió a grabar en un horario de 5:30 am a 18:00 pm, empleando dos grabadoras digitales portátiles de la marca TASCAM DR 40 y ROLAND R-26 y micrófonos shotgun RODE NTG2, equipados con Shock mount y filtro de vientos (figura 21).

Todas las grabaciones se hicieron a una frecuencia de muestreo de 44.1 KHz, un rango dinámico de 24 bits, en concordancia con el rango de frecuencias que poseen las

vocalizaciones de aves y se usó el formato WAV. También se tomaron los siguientes datos asociados a las vocalizaciones: nombre de la especie, fecha, hora, localidad, coordenadas geográficas, comportamiento, número de individuos, descripción del hábitat, clima, distancia y equipo utilizado.

Figura 21: Grabación de los sonidos en zonas asociadas a bosque seco tropical y bosque altoandino. Fotos: Merchancano, 2015 y Martínez 2015.



Análisis de los sonidos

A cada una de las grabaciones obtenidas en campo se les asignó un código, teniendo en cuenta la localidad de muestreo, el tipo de hábitat, el sexo y la edad (adulto o juvenil) de los individuos que se grabaron, como se indica en el Anexo 1.

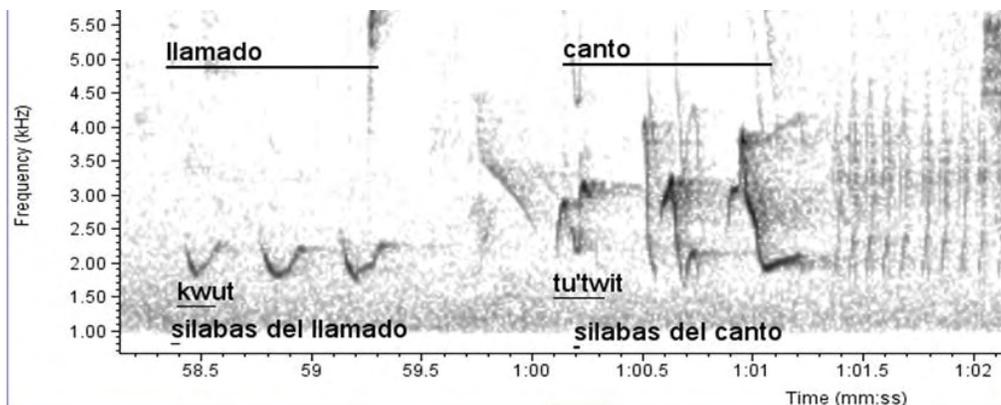
A continuación se realizó la edición de los cantos mediante el software ADOBE AUDITION 3.0, aquí se aplicó filtros de reducción de ruido, se normalizó todas las grabaciones a un nivel de -6 decibelios y se eliminó los sonidos provocados por fuentes externas como

carreteras, personas o animales domésticos. Posteriormente, se realizó la caracterización visual de las vocalizaciones del Miranchurito en llamados y cantos.

Todos los análisis de repertorio vocal se llevaron a cabo por la misma persona mediante inspección visual de los espectrogramas en el software RAVEN PRO 1.5. Las sílabas se clasificaron en función de sus características estructurales, su forma y sonido, se consideró una sílaba como un trazo continuo en el tiempo sin pausas visibles o como una colección de trazos separados por menos de 25 mm sobre el espectrograma (Briefer, Aubin, & Rybak, 2009; Hesler, Mundry, & Dabelsteen, 2011; Palmero, Illera, & Laiolo, 2012).

Los llamados y cantos fueron considerados como una secuencia de sílabas como se indica en la figura 17; separados por pausas más largas que los intervalos entre las sílabas. Siendo este el primer trabajo en el que se describe el canto de esta especie, se le asignó un nombre a cada uno de los elementos que conformaron los llamados y cantos, de acuerdo al sonido que se escuchaba, como se indica en la figura 22, esta clasificación es conocida como descripción onomatopéyica. Las mediciones de los parámetros acústicos se realizaron a través del software RAVEN PRO 1.5, los parámetros acústicos evaluados fueron duración del canto en segundos (s), número de elementos del canto, frecuencia mínima, frecuencia máxima y ancho de banda en kilohertzios (KHz).

Figura 22: sonograma donde se indica un llamado y un canto de *Pheucticus aureoventris*.



Análisis de datos

Estimación del tamaño del repertorio vocal

El tamaño del repertorio vocal se estimó a través del número de sílabas diferentes pronunciadas en un minuto de grabación, para ello se realizó una curva de acumulación usando la ecuación de Clench (Palmero, Illera, & Laiolo, 2012), esta ecuación ha sido recomendada para estudios ecológicos en áreas muy extensas y para protocolos en los que es necesario pasar más tiempo en campo o adquirir más experiencia con el método de muestreo y con el grupo taxonómico, para obtener una mayor probabilidad de añadir nuevas especies al inventario o en el caso particular de este estudio “nuevas sílabas” al repertorio de la especie (Soberón & Llorente, 1993).

La expresión matemática de la ecuación es.

$$S_n = (a * n) / (1 + (b * n))$$

Donde S_n es el número de sílabas en el n -ésimo minuto, n son los minutos de grabación, a es la tasa de aumento de nuevas sílabas al comienzo del repertorio, y b es un parámetro que afecta a la forma de la curva y representa la acumulación de nuevas sílabas durante sucesivos muestreos.

Para cada minuto de grabación, la ecuación se ajustó mediante el algoritmo Simplex y Quasi-Newton, que supone la probabilidad de que la adición de sílabas a un minuto del repertorio aumenta con el tiempo y disminuye con el número de sílabas que se registraron previamente (Hortal & Lobo, 2002). De esta forma se obtuvo el tamaño estimado del repertorio vocal y el tiempo necesario para obtener un repertorio representativo.

Previamente se obtuvo una matriz a partir de una aleatorización de datos utilizando Estimates versión 8.2 (Colwell, 2009), a continuación, se estimó el tamaño total del

repertorio de los machos usando curvas de acumulación y la ecuación de Clench como se indicó anteriormente, mediante el software Statistics 1.7. El repertorio vocal de *P. aureoventris* se consideró completo cuando la pendiente de la curva presento un valor cercano o menor a 0,1 (Palmero, Illera, & Laiolo, 2012).

Descripción de los llamados y cantos

Se describió los llamados y cantos mediante medidas de tendencia central y varianza, en primer lugar se aplicó el test de Shapiro wilk para determinar la normalidad del conjunto de datos, posteriormente se realizó un análisis univariado a través del programa PAST 3.0, Para cada variable evaluada (duración y frecuencia) se obtuvo el valor de la media y la desviación estándar.

Comparación de las vocalizaciones

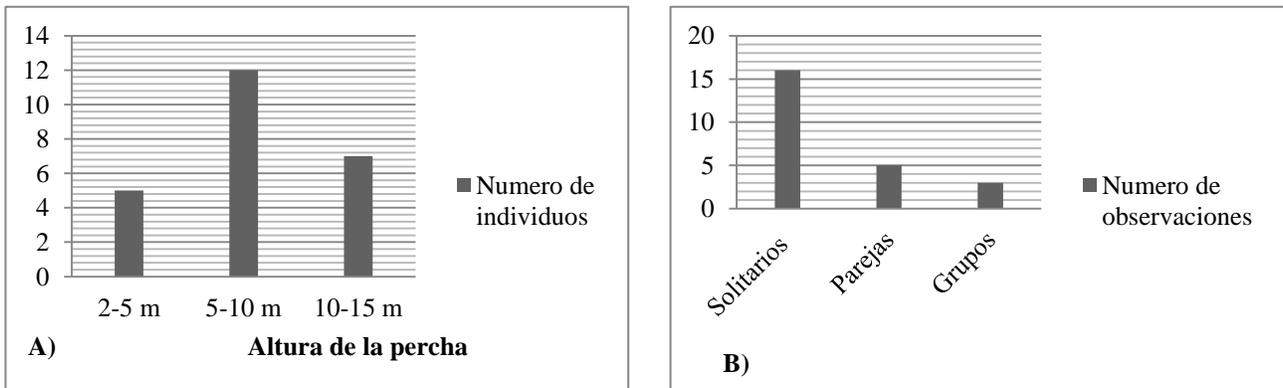
Se usó las pruebas estadísticas T de Student y U de Mann Whitney, para identificar las diferencias entre los parámetros acústicos de los cantos provenientes de bosque seco tropical y bosque altoandino, también se comparó las cinco silabas más frecuentes encontradas en las dos zonas de estudio.

Finalmente se hizo un análisis de varianza Anova y Kruskal-Wallis para evaluar las diferencias en la frecuencia y duración de los cantos en las seis localidades muestreadas y se evaluó el nivel de agrupamiento mediante el índice de similitud de Jaccard, para ello se usó la frecuencia de aparición de todas las silabas en cada una de las localidades de BST y B-Alt

RESULTADOS

En las dos zonas de estudio, se obtuvo un total de 39 grabaciones de *Pheucticus aureoventris*, el 95% de las vocalizaciones fueron emitidas por machos adultos y un 5% por hembras y juveniles. El horario de actividad vocal de la especie vario desde las 5:30 hasta las 18:00 horas. Principalmente se observó a los Miranchuritos vocalizando en una posición fija desde perchas altas entre 5 y 10 metros y en menor medida desde perchas más bajas (2-5 m) o más altas (10-15 m), la mayor parte del tiempo se observó a los individuos solitarios, a menudo en parejas y menos frecuente formando grupos pequeños de hasta 5 individuos (figura 23).

Figura 23: A) Altura de percha y B) cantidad de observaciones de los individuos formando grupos, parejas o solitarios.



Estimación del tamaño del repertorio vocal

El repertorio vocal de la especie estuvo conformado principalmente por cantos, mientras que un mínimo de vocalizaciones se podrían definir como llamados, en este estudio fue posible caracterizar nueve tipos de silabas en los llamados y 52 tipos de silabas en los cantos de machos, las cuales se indican en el Anexo 1.

La curva de acumulación realizada para la estimación del repertorio vocal de los machos de la especie, muestra un incremento continuo, presentando algunos puntos de inflexión alrededor de los 15 minutos de grabación, pero no logra una estabilización continua en ningún punto del muestreo (figura 24), también se puede observar en la tabla 1, que la pendiente dio un valor positivo y mayor que 0.1, la proporción de sílabas registradas para este estudio es de 0,2089, es decir que en los 40 minutos de grabación se registró únicamente el 20,89% de las sílabas del repertorio y el modelo indica que el tiempo estimado para encontrar un 95% de las sílabas es de 180,6 minutos.

Figura 24: Curva de acumulación obtenida a partir de la Ecuación de Clench.

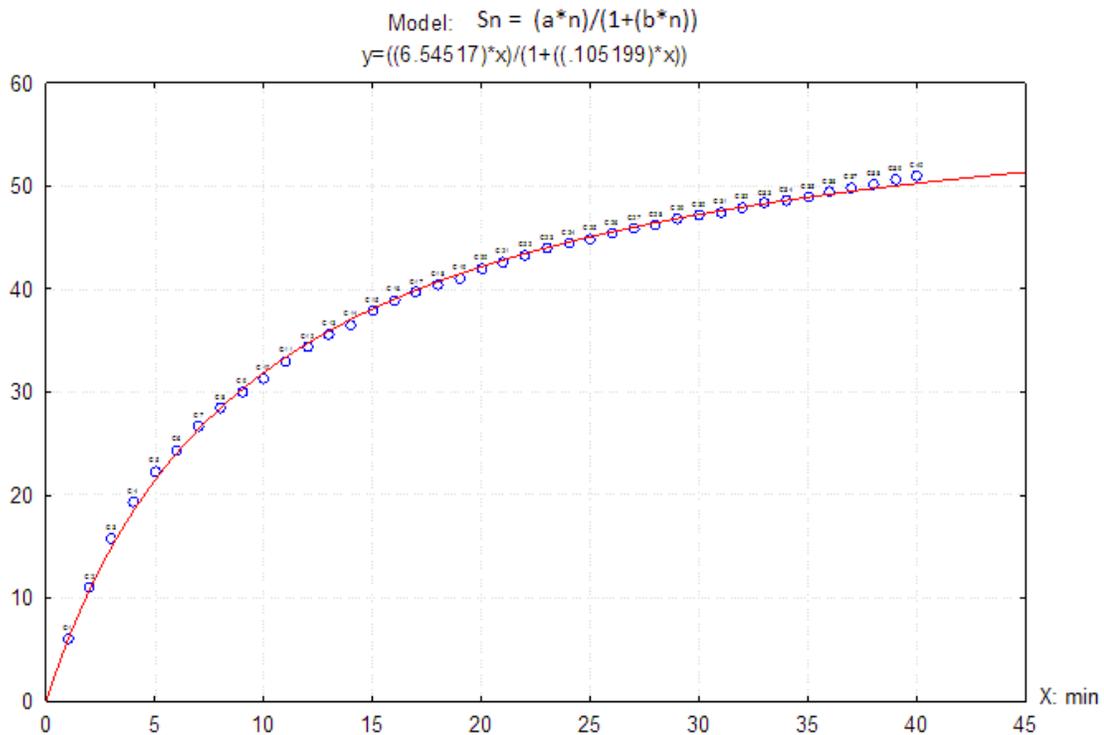


Tabla 1: Datos obtenidos a partir de la estimación del repertorio vocal de *P. aureoventris* usando la ecuación de Clench.

Numero de silabas observadas	Proporción de silabas registradas	Tiempo de grabación realizado (minutos)	Tiempo de grabación estimado (minutos)	Pendiente de la curva
52	0,2089	40	180,6	0,2413

Se indica la proporción de silabas registradas con respecto al tiempo de grabación realizado y el tiempo estimado para obtener un repertorio representativo.

Descripción de los llamados

En este estudio se encontró cuatro tipos de llamados, tres de ellos se registraron en las zonas asociadas a B-Alt y solo uno se registró para las zonas de BST. Los llamados de *Pheucticus aureoventris* se definen como una serie de estructuras sencillas, están compuestos por una a cinco silabas, las cuales se repiten frecuentemente en las grabaciones (figura 25), y en general se encontraron en un rango de frecuencia entre 1,450 y 2,613 KHz.

El llamado 1 fue emitido por individuos juveniles, este llamado presento tres silabas nombradas como “kwut”, las cuales presentan forma de vocal “U”, una duración promedio de 0,933 s y sus frecuencias oscilaron desde los 1,687 KHz hasta los 2,455 KHz, este llamado se registró en tres ocasiones en el corregimiento de Obonuco en zonas de cultivo, con algunos árboles dispersos. El llamado 2, estuvo formado por una silaba “wut” con forma triangular, que se emitió constantemente en intervalos de 1,5 s, presenta una frecuencia mínima de 1,378 KHz y alcanza frecuencias de 3,5 KHz este llamado fue emitido por hembras y machos adultos mientras permanecían forrajeando en cultivos de maíz en el corregimiento de Obonuco.

El llamado 3 presento dos silabas nombradas como “cwi” y “cwuit” con forma de letra “V”, las cuales no presentaron una agrupación fija, y se observaron dispersas en los sonogramas, este llamado presento frecuencias desde los 1,375 KHz hasta los 3,582 KHz y fue emitido por individuos

juveniles en zonas de bosque seco, en la localidad de Rio Mayo y finalmente el llamado 4 fue emitido por hembras, este llamado presento dos silabas nombradas como “ku’t” con forma de letra “n” y una silaba “k’uit” con forma triangular, sus frecuencias oscilaron entre los 1,770 hasta los 2,800 KHz y una duraci3n promedio de 0,962 s.

Figura 25: Llamados de *Pheucticus aureoventris*, donde se observa las estructuras sencillas y repetitivas que caracterizan un llamado.

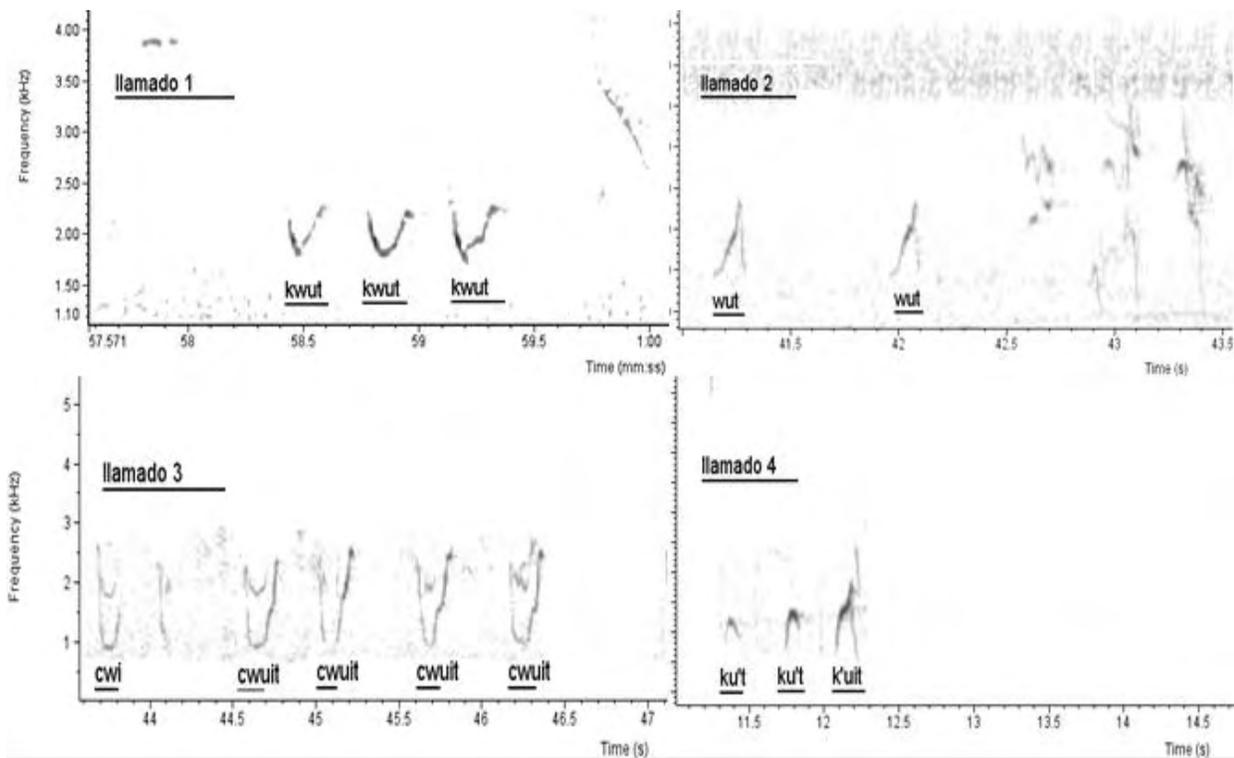


Tabla 2: Duraci3n y frecuencia de los cuatro tipos de llamados de *Pheucticus aureoventris*, datos de promedio y desviaci3n est3ndar tomados a partir de 8 grabaciones.

	Llamado 1		Llamado 2		Llamado 3		Llamado 4	
	m	S	m	s	M	S	M	S
Duraci3n (ms)	0, 933	0,023	0, 897	0,021	0, 814	0,345	0, 962	0,025
F m3x. (KHz)	2,350	0,995	2,394	1,203	2,593	0,799	2,613	1,210
F min (KHz)	1,755	0,563	1,459	0,678	1,375	0,776	1,504	0,468

*valores de media (m) y desviaci3n est3ndar (s).

Descripción de los cantos.

Se encontró un total de 340 cantos de *Pheucticus aureoventris*, distribuidos en 40 minutos de grabación, de los cuales 196 corresponden a zonas de Bosque Altoandino y 144 corresponden a zonas de BST. En general el canto se compone de una serie de silabas de variadas formas, con frecuencias moduladas, que a menudo terminan con una silaba más aguda o de mayor duración y no presentan trinos o elementos repetitivos. Todos los cantos variaron ampliamente entre individuos y se encontró diferencias en el número, organización y composición de silabas. Estas características permiten que el canto se escuche como una rica composición de silbidos melódicos y extensos, que los machos adultos emiten durante uno a diez minutos.

Cantos de las zonas asociadas a Bosque Altoandino

En general los cantos de esta zona estuvieron formados en promedio por siete silabas, llegando a 10 o 12 silabas (figura 26), los valores promedio de frecuencia mínima oscilan entre 1,375 KHz y 1,627 KHz, los de frecuencia máxima entre 3,370 KHz y 4,560 KHz y la duración varió entre 1,6 y 3,7 s. Los individuos de estas zonas permanecían vocalizando durante tres a ocho minutos y los cantos se presentaron en intervalos de tres a cinco segundos. Para el caso de Mocondino se encontró cantos largos con siete a doce silabas y una duración promedio de 2,4 s, la silaba más frecuente fue “twie”, la cual apareció 22 veces en las grabaciones y la silaba “grill” cuyo sonido es similar a un graznido, fue la única que presento armónicos.

En Obonuco los cantos presentaron de seis a ocho silabas, con una duración promedio de 2,2 s, sus frecuencias oscilaron entre 1,481 a 3,664 KHz y la silaba más frecuente fue “p’tiut”, que apareció 26 veces en los cantos de esta localidad. Finalmente los cantos de Cabrera se formaron por cinco a siete silabas, presentaron una duración promedio de 1,9 s, sus frecuencias

variaron entre 1,627 a 4,159 KHz, y la silaba más común fue “twuut”. Los datos para cada localidad se indican en la tabla 3.

Figura 26: Sonogramas de tres cantos representativos de las zonas asociadas a Bosque Altoandino, donde se observa la amplia variación en la composición de silabas del canto.

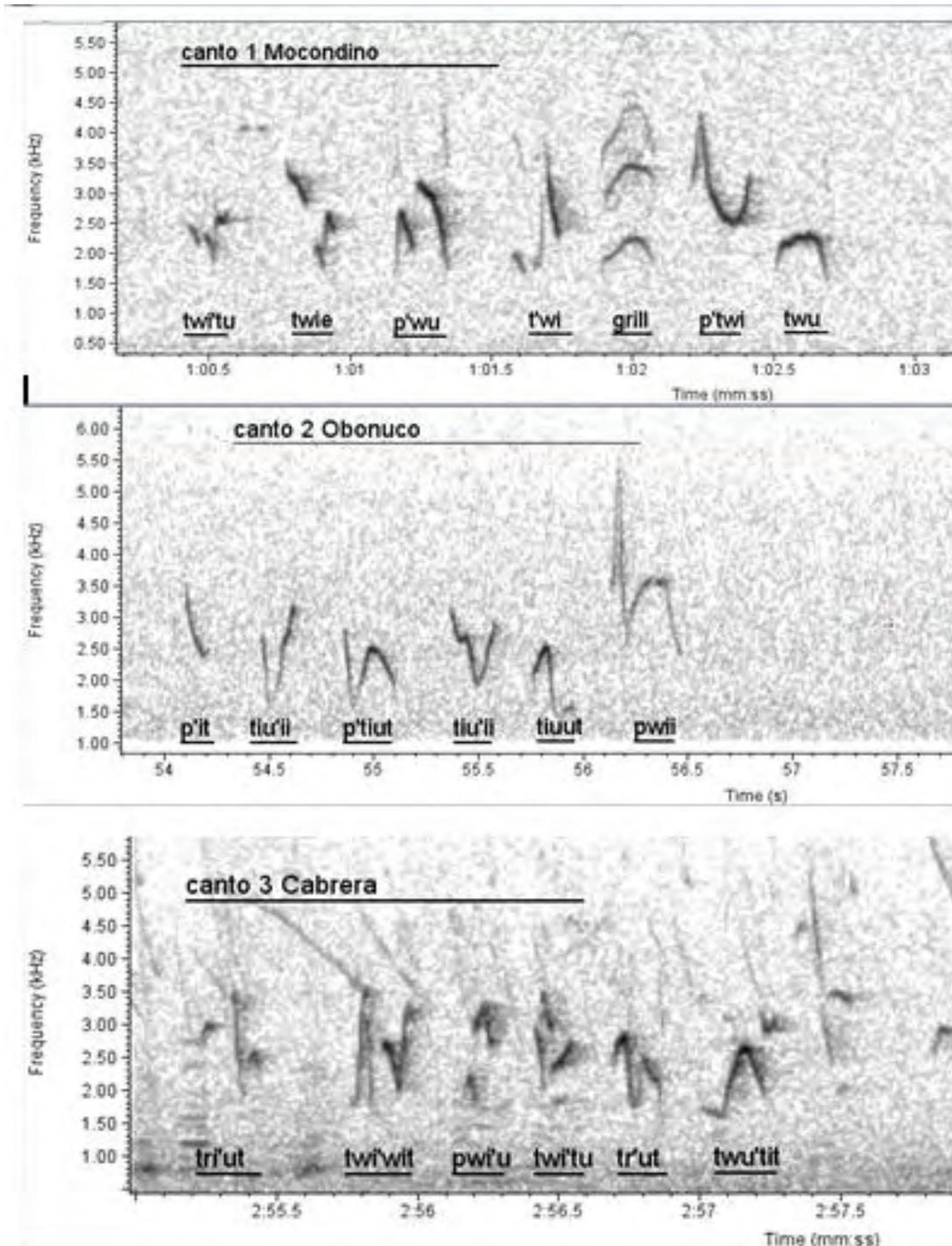


Tabla 3: Duración y frecuencia de los cantos, tomados a partir de 196 cantos de *Pheucticus aureoventris* en zonas asociadas a Bosque Altoandino, valores de media (m) y desviación estándar (s)

Localidad	Frecuencia mínima (KHz)		Frecuencia máxima (KHz)		Duración (s)	
	m	s	m	s	m	s
Mocondino	1,574	0,94	4,561	1,39	2,410	0,31
Obonuco	1,481	0,45	3,664	1,54	1,996	0,30
Cabrera	1,627	0,87	4,159	1,32	2,224	0,83

Cantos de las zonas asociadas a bosque seco tropical

Los cantos de las zonas asociadas a Bosque Seco Tropical presentaron en promedio tres tipos de silabas y algunos cantos alcanzaron las cinco silabas (figura 27), la duración promedio fue de 0,75 a 1,7 s, llegando hasta los 2,6 s y el promedio de frecuencias vario entre los 1,089 KHz hasta los 4,175 KHz (tabla 4). En esta zona el tiempo de vocalización fue más corto, los individuos permanecían cantando entre uno y tres minutos y los intervalos de tiempo entre cantos fueron más largos, de seis a diez segundos.

La mayoría de cantos registrados en Rio Mayo estuvieron formados por tres silabas y en menor medida por cuatro silabas, su duración promedio fue de 0,960 s, sus frecuencias abarcan desde los 1,358 KHz hasta 4,034 KHz y la silaba más frecuente fue “tu’twit”, mientras que en la localidad de San Antonio, los cantos presentaron un promedio de cuatro silabas, con frecuencias de 1,173 a 4,071 KHz y una duración de 1,7 s, las silabas se caracterizaron por presentar una forma triangular o en “V” y la silaba más frecuente fue “ti’wu”, por último, en la Quebrada Lorenzo, los cantos se formaron por tres silabas, siendo más común la silaba “twi’tu”, los valores de frecuencia oscilaron entre 1,314 a 3,598 KHz y la duración promedio fue de 1,2 s, los datos de cada localidad se indican en la tabla 4.

Figura 27: Sonograma con tres tipos de cantos representativos de las zonas asociadas a Bosque Seco Tropical.

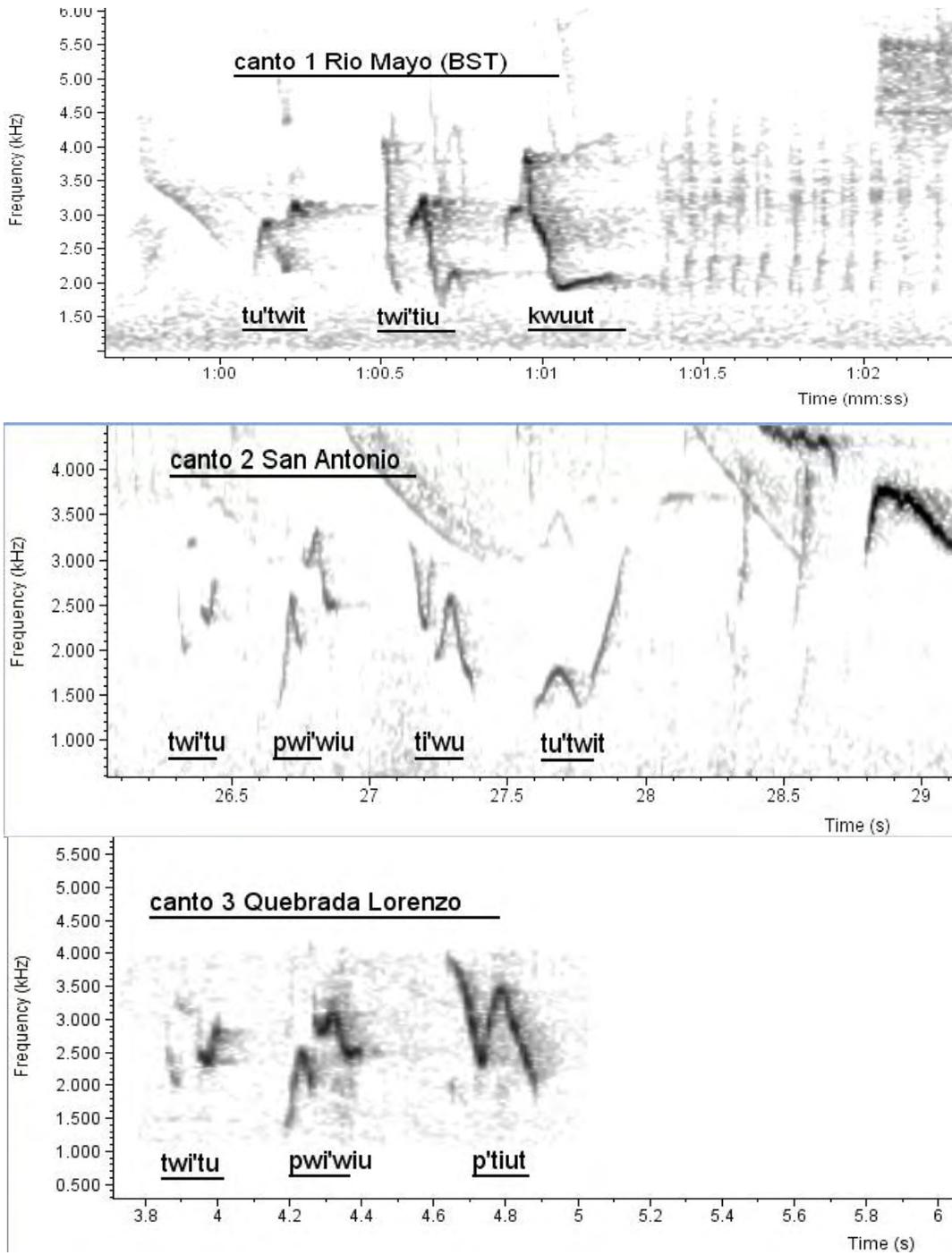


Tabla 4: Duración y frecuencia tomados a partir de 144 cantos de machos adultos de *Pheucticus aureoventris*, grabados en zonas asociadas a Bosque Seco Tropical, Valores de media (m) y desviación estándar (s).

Localidad	Frecuencia mínima (KHz)		Frecuencia máxima (KHz)		Duración (s)	
	m	s	m	s	m	S
Rio Mayo	1,358	0,48	4,034	1,55	0,96	0,49
San Antonio	1,173	0,60	4,071	1,35	1,74	0,29
Q. Lorenzo	1,314	0,54	3,598	1,70	1,28	0,46

Cada uno de los cantos evaluados presentaron características únicas en su composición de silabas, sin embargo, en las dos zonas de estudio se encontró un total de 39 silabas en común, a continuación se describen las cinco silabas que aparecieron con mayor frecuencia en el repertorio.

En la figura 28 se indica las silabas “N” y “Np”, las cuales se observan como trazos continuos similares a una letra N y presentan un comportamiento ascendente, iniciando en frecuencias bajas de 1,16 y 1,9 KHz, que ascienden hasta los 3,8 y 3,1 KHz respectivamente, mientras que la silaba “lv” inicia en 3,8 KHz, baja hasta los 1,4 KHz y finaliza en 2,4 KHz, la silaba “A” presenta una forma triangular con frecuencias de 2 a 4 KHz, finalmente la silaba “3” se observa como tres trazos separados y sus frecuencias van desde los 1,5 KHz a 2,9 KHz.

La frecuencia de aparición de las silabas dentro del repertorio se observa en la tabla 5, en B-Alt se encontró frecuencias de aparición similares en las cinco silabas, siendo “lv” la más frecuente, esta silaba se observó 26 veces en el repertorio, en contraste, los cantos de BST presentan frecuencias de aparición muy altas o muy bajas, donde “Np” es la silaba más frecuente, que apareció 43 veces dentro del repertorio.

Figura 28: Silabas más frecuentes en los cantos de las 2 zonas de estudio, en la parte superior se indica el código de la silaba y en la parte inferior el nombre.

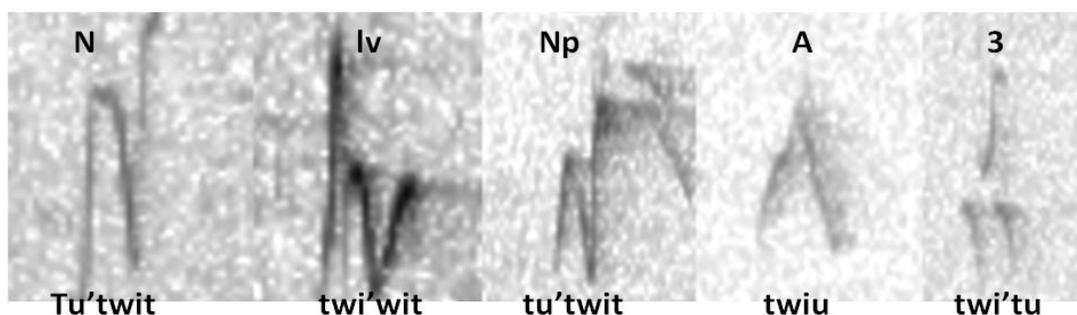


Tabla 5: Registro de las silabas en cada una de las zonas de estudio, se muestra el número de observaciones y la frecuencia correspondiente.

	N	Lv	Np	A	3
Zonas de Bosque Altoandino	18 - 0,021	26 - 0,030	15 - 0,017	20 - 0,023	21 - 0,024
Zonas de Bosque Seco Tropical	14 - 0,016	13 - 0,015	43 - 0,050	9 - 0,010	31 - 0,036

Comparación de los cantos en zonas asociadas a Bosque Seco Tropical y Bosque Altoandino.

Para este análisis se consideró los cantos completos de la especie y el aporte de las silabas más frecuentes del repertorio, como se indica en la tabla 6. Previamente a la comparación se realizó el test de Shapiro-Wilk y la prueba F de Fisher para determinar la normalidad de los datos y la homogeneidad de varianza, siendo la frecuencia máxima y el ancho de banda, las únicas variables que presentaron normalidad de los datos y homogeneidad de varianzas.

El número de silabas y la duración del canto presentaron diferencias altamente significativas, puesto que los cantos de B- Alt tenían un número de silabas mayor que los cantos de BST y por lo tanto fueron mucho más extensos, esta variación se evidencio en el valor $P=0$ ($\alpha=0,05$) encontrado para las dos variables, según el estadístico U de Mann Withney, en cuanto a frecuencia, fue más significativa la diferencia de frecuencia mínima $p < 0.0005$ con el estadístico U de Mann Withney y en los datos de

frecuencia máxima y ancho de banda las diferencias fueron menos significativas $p < 0,05$, según la prueba T de Student.

Para las sílabas más frecuentes dentro de las dos zonas, las diferencias en las variables de tiempo y frecuencia fueron significativas, a excepción de la frecuencia mínima en la sílaba “3”, el ancho de banda en la sílaba “N”, la duración en las sílabas “lv” y “A” la frecuencia máxima en la sílaba “A”. En general el ancho de banda fue mayor en las sílabas de BST, mientras que la frecuencia mínima y máxima no reflejaron una tendencia similar y presentaron diferentes valores en las sílabas evaluadas.

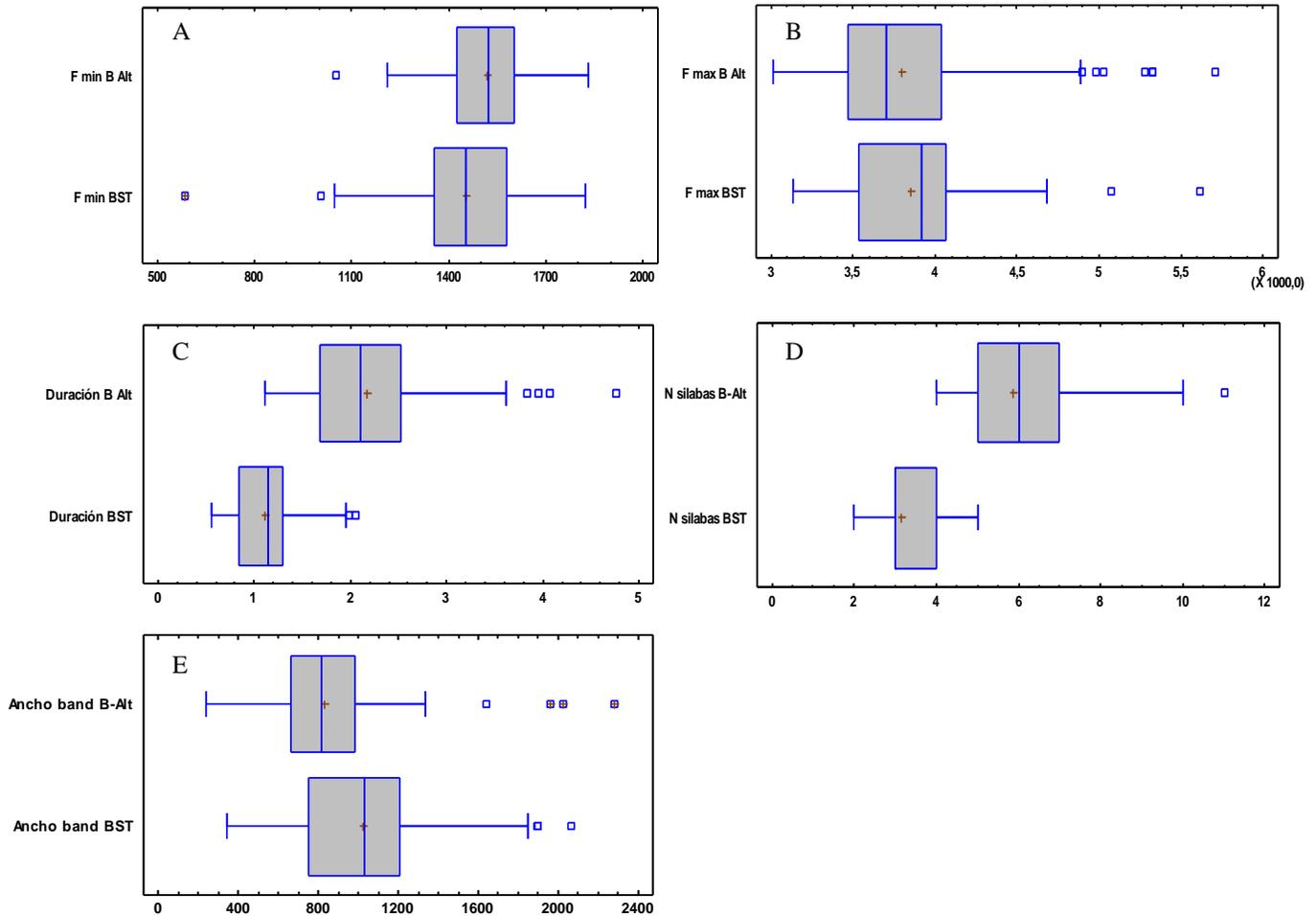
Tabla 6: Promedio de duración, frecuencias y ancho de banda de las sílabas más frecuentes y los cantos de *Pheucticus aureoventris* entre las zonas asociadas a BST y B-Alt.

		Duración (segundos)	Numero de sílabas del canto	Frecuencia mínima (KHz)	Frecuencia máxima (KHz)	Ancho de banda (KHz)
Canto	BST	1,2***	3***	1,4**	3,9*	1,1*
	B-Alt	2,1	7	1,5	3,8	0,8
Sílabas						
Np	B-Alt	0,203***	-	1628,3***	2938,2***	820,3**
	BST	0,157		1932,5	3177,5	908,3
3	B-Alt	0,140***	-	2163,8	3325,8**	697,68**
	BST	0,185		1934,6	3213,1	950,5
N	B-Alt	0,135**	-	1865,9***	3756,7***	1037,6
	BST	0,331		1266,7	2846,6	1042,8
Lv	B-Alt	0,206	-	1724,3*	2784,5*	1030,2**
	BST	0,230		1937,5	3539,0	1205,9
A	B-Alt	0,199	-	1740,5*	2992,35	818,2*
	BST	0,177		1572,2	3145,7	1162,8

Se muestra los promedios de duración, f min, f max, ancho de banda y numero de sílabas en los cantos y las sílabas más frecuentes del canto de *Pheucticus aureoventris* de BST y B-Alt. Las diferencias se evaluaron mediante las pruebas U de Mann Withney y T de student con un nivel de confianza del 95% y un $\alpha = 0,05$, los valores p se indican cómo * $p < 0,05$, ** $p < 0,005$ y *** $p < 0,0005$

A continuación en la figura 29, se indica los gráficos de caja y bigotes, donde se evidencia las diferencias entre las variables evaluadas, en los cantos de la especie.

Figura 29: gráficos de caja y bigotes que compara cada una de las variables de los cantos de *P. aureoventris* en zonas asociadas a Bosque seco tropical y Bosque altoandino, siendo A) Frecuencia mínima, B) Frecuencia máxima, C) Duración y D) Número de sílabas y E) Ancho de banda.



Las frecuencia mínima de las dos zonas presenta distribuciones similares, en la zona de BST el 75% de los datos se encuentran por debajo de los 1,6 KHz, con la media y la mediana coincidiendo a 1,450 KHz, en esta zona los datos presentan mayor dispersión abarcando frecuencias menores a los 1,10 Hz y mayores a 1,8 KHz, mientras que en la zona de B-Alt, los datos se distribuyen de manera uniforme y menos dispersa, con un 50 % de los datos entre 1,4 y 1,6 KHz, un mínimo de 1,2 KHz, un máximo de

1,8 KHz, la media y la mediana coinciden en 1,5 KHz y únicamente se encontró dos datos atípicos por debajo de los 1,10 KHz en las dos zonas.

La frecuencia máxima presenta una distribución similar de los datos en el cuartil inferior y el cuartil superior de las dos muestras, con valores que van desde los 3,480 KHz hasta 4 KHz en B-Alt y desde los 3,560 KHz hasta 4,1 KHz en BST, sin embargo en la zona de B-Alt los datos están más dispersos, distribuyéndose desde los 3 KHz hasta 4,9 KHz y hay una mayor cantidad de datos atípicos, en comparación con la zona de BST donde los datos están desde los 3,1 KHz hasta los 4,6 KHz y solo presenta 2 datos atípicos.

En los gráficos es posible observar que la zona de B-Alt, presenta frecuencias mínimas más altas, y un promedio de frecuencia máxima más baja, por lo tanto el ancho de banda es más estrecho, con un promedio de 800 Hz y la mayor parte de los datos distribuidos por debajo de los 1,3 KHz, mientras que en las zonas de BST, el 75 % de los datos se distribuyeron desde los 750 Hz, hasta los 1800 Hz.

La duración de los cantos está directamente relacionada con el número de sílabas, el cual fue mayor en la zona de B-Alt, donde se encontró cantos con un mínimo de cuatro sílabas, un máximo de diez sílabas, una media de seis sílabas y un dato atípico de once sílabas, mientras que en la zona de BST, el número de sílabas no varió mucho, encontrándose de dos a cinco sílabas, con una media de tres sílabas. La tendencia de la zona altoandina a presentar más datos atípicos, puede darse porque los cantos de esta zona presentaron un mayor número y variedad de sílabas.

Comparación de los cantos entre localidades de muestreo.

Los cantos registrados presentaron diferencias a nivel de ecosistemas y a nivel de localidades dentro de un mismo ecosistema, así lo indican los análisis de varianza realizados para cada variable del canto, aquí se usó una prueba Anova para las variables frecuencia máxima y

ancho de banda cuyos datos se ajustan a una distribución normal, mientras que la duración y la frecuencia mínima se evaluaron a través de la prueba no paramétrica Kruskal-Wallis (tabla 7).

La variación de duración, frecuencias y ancho de banda, encontrada entre las localidades de un mismo ecosistema fue menor con respecto a la variación entre los dos ecosistemas, en la tabla 7 se observa que la variación entre ecosistemas presenta un valor $p < 0,0005$, en las cuatro variables, siendo más significativa la variación de la duración y el ancho de banda.

Las localidades de bosque altoandino presentaron una variación muy significativa en la duración del canto, lo cual podría estar relacionado con las diferencias en el número de sílabas de los cantos de esta zona, los valores de frecuencia máxima y ancho de banda también presentaron variación con un valor $p < 0,05$ y únicamente la frecuencia mínima no presentó variación significativa entre estas localidades

En contraste, la duración del canto y el ancho de banda no muestran variaciones significativas en las localidades de bosque seco, donde la variación se presentó en la frecuencia mínima y máxima con un valor $p < 0,05$

Tabla 7: variación de frecuencia y duración de los cantos entre las zonas de estudio (BST y B-Alt) y entre las localidades muestreadas (Obonuco, Mocondino y Cabrera – Río Mayo, San Antonio y Quebrada Lorenzo).

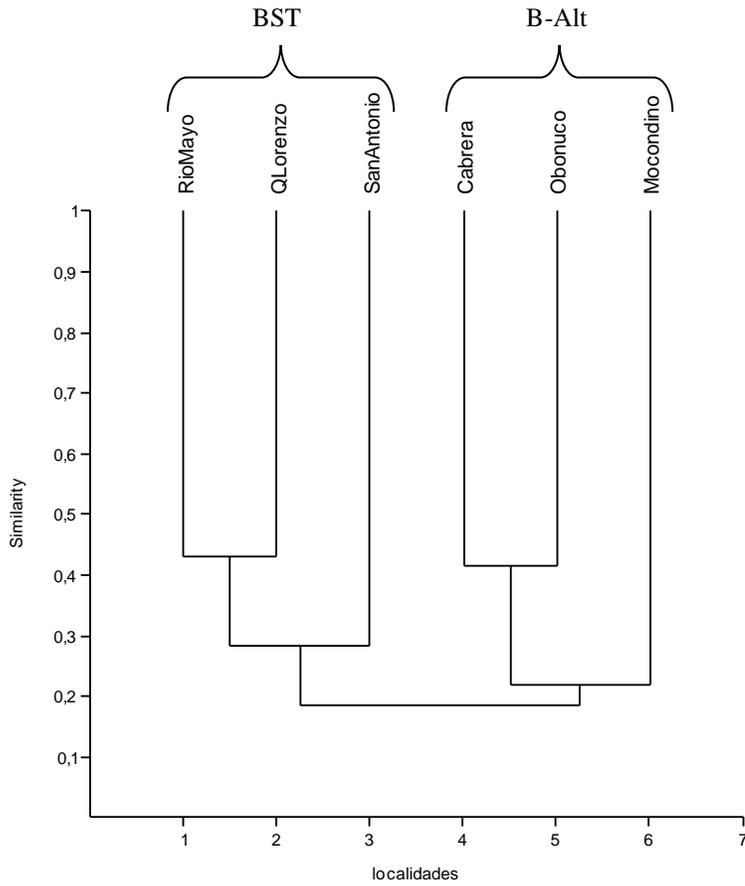
	Localidades B-Alt	Localidades BST	BST y B-Alt
F. máx.	0,007	0,02	$5,5 \times 10^{-5}$
F min.	0,09	0,001	0,0004
Duración	$4,9 \times 10^{-5}$	0,62	$3,7 \times 10^{-7}$
Ancho banda	0,023	0,88	$1,5 \times 10^{-7}$

Se muestra los valores P con un nivel de confianza del 95% y un $\alpha = 0,05$, obtenidos mediante las pruebas Kruskal-Wallis y Anova.

A continuación en la figura 30, se indica el nivel de agrupamiento entre los cantos de las diferentes localidades mediante el índice de similitud de Jaccard, donde los dos tipos de ecosistemas (BST y B-Alt) se definieron como 2 grupos separados, las localidades Rio Mayo y Quebrada Lorenzo fueron las más cercanas con más del 40% de afinidad, lo cual indica que sus individuos presentaron más sílabas en común, pero los individuos de la otra localidad (San Antonio) compartieron un menor número de sílabas en sus cantos, presentando menos del 30% de afinidad, estos resultados podrían estar relacionados con la cercanía de las localidades, puesto que la Quebrada Lorenzo y el Rio Mayo se encuentran muy cercanas y presentan hábitats muy similares, lo que implica que los individuos tengan un mayor contacto o sean los mismos individuos los que habitan en las dos localidades.

Por otra parte, en la zona de Bosque Altoandino, los cantos de Obonuco y Cabrera están mucho más relacionados, presentando un 40 % de afinidad, mientras que los cantos de Mocondino se separan de este grupo con menos del 25% de afinidad, cabe resaltar que, estas tres localidades se encuentran más alejadas entre sí y separadas por el casco urbano de la ciudad de Pasto, lo que estaría explicando el menor grado de afinidad encontrado

Figura 30: Dendograma de agrupación según el índice de Jaccard, usando los datos de frecuencia de aparición de las 52 sílabas encontradas en los cantos de Bosque Seco Tropical (Rio Mayo, San Antonio y Quebrada Lorenzo) y Bosque Altoandino (Obonuco, Mocondino y Cabrera).



DISCUSIÓN

Descripción de las vocalizaciones

Durante este estudio fue posible determinar, que las vocalizaciones de *P. aureoventris* presentan varias características acústicas descritas para otras especies de la familia Cardinalidae (Dunham, 1965; Lemon R. , 1966; Emlen, 1971; Ritchinson, 1985). Con respecto a los llamados, aquí se reportan aspectos similares a los descritos por Ritchinson (1985), quien describió seis tipos de vocalizaciones emitidas por parejas y juveniles de *Pheucticus melanocephalus*, estos llamados presentaron entre una a tres sílabas y el autor los relaciono con dos tipos de comportamiento; defensa del nido ante el ataque de depredadores y alimentación de las crías, por lo tanto la emisión de llamados en este género estaría fuertemente asociada al cuidado parental.

Éstas conductas fueron observadas en grupos familiares de miranchuritos, aunque en los objetivos del trabajo, no se incluyó la evaluación del comportamiento de la especie, es importante mencionarlo, ya que estas conductas ayudan a comprender la relación entre la función del llamado y su estructura acústica, que es determinada por su frecuencia, ancho de banda, y, posiblemente, su amplitud, esta estructura influye en el tipo de información que quiera transmitir el ave, en este caso los llamados al ser sonidos guturales y poseer un menor número de sílabas, podrían enviar un mensaje rápido de alerta o localización (Klump & Shalter, 1984; Marler, 2004).

Al contrario de lo anteriormente mencionado, la clasificación de los elementos del canto revelo una amplia variedad de sílabas, ya en estudios anteriores con especies de la familia Cardinalidae y el género *Pheucticus* se ha encontrado repertorios que contienen alrededor 70 a 120 sílabas (Dunham, 1965; Lemon R, 1967; Anderson & Daugherty, 1974; Ritchison, 1988),

sin embargo estos estudios han sido realizados en un tiempo de muestreo mucho más largo lo cual coincide con los resultados obtenidos en la curva de acumulación, que sugieren ampliar el tiempo de grabación para obtener un repertorio acústico más completo de los machos adultos de la especie. Cabe mencionar que el tamaño del repertorio vocal es difícil de determinar, puesto que se ha reportado, que los machos de algunas especies de Cardinalidae, durante su primer año de desarrollo, modifican los cantos que ellos aprenden, mediante la suma o resta de algunos elementos del canto, estas modificaciones conllevan a cambios graduales en el repertorio (Schook, Collins, Jensen, Williams, Bader, & Parker, 2008).

Los individuos de la zona altoandina emitieron los cantos más largos y variados, estos cantos, fueron similares a los descritos por Dunham (1965) y Lemon (1966), presentando entre cinco a doce sílabas de frecuencias moduladas. En cardinalidos de Norte América, se ha encontrado que las sílabas presentan modulaciones de frecuencia que pueden ir desde los 2000 Hz hasta los 7000 Hz, estas sílabas se emiten empleando un solo canal de la siringe o pueden hacer una transición abrupta de un canal a otro, este proceso exige una alta precisión ya que brinda las características temporales y espectrales a su canto e implica la producción de este tipo de sílabas melódicas que resultan más eficaces en la atracción de hembras (Suthers, 1997), sin embargo en *Pheucticus ludovicianus* se encontró que el canto es emitido principalmente en disputas territoriales con otros machos y no directamente en los encuentros con hembras (Dunham, 1965). Por ello es importante resaltar que el proceso de producción del canto y su función varía entre especies.

Comparación de los cantos en dos tipos de ecosistemas.

Las diferencias encontradas en los cantos de las dos zonas de estudio fueron evidentes, la característica más notable fue la variación en el número de sílabas, los cantos del ecosistema BST, estuvieron compuestos en promedio por tres sílabas que es un número bastante bajo para un cardinalido, este resultado podría estar relacionado con la época de muestreo (Junio - Agosto), que en esta zona registra las mayores temperaturas y el mayor grado de sequía de todo el año, por lo tanto los recursos son limitados y los individuos presentaron una menor actividad vocal en comparación con los individuos del otro ecosistema. Las diferencias también podrían estar influenciadas por cambios en la época reproductiva de *P. aureoventris*, ya que los machos de otras especies de Cardinalidae muestran la mayor riqueza de su repertorio únicamente en época reproductiva (Anderson & Daugherty, 1974) y en este estudio las grabaciones se realizaron en diferentes meses en las dos zonas de estudio y los registros de condición reproductiva para *P. aureoventris* han sido en enero en el departamento del Cauca y en noviembre en Nariño (Hilty & Brown, 2001), por consiguiente no se grabó los cantos en la época reproductiva de la especie en las zonas de BST. Sin embargo es necesario realizar otros muestreos para confirmar esta afirmación.

Para explicar las diferencias encontradas en los cantos del Miranchurito, se han planteado dos hipótesis generales, una de ellas está relacionada con el planteamiento de Nottebohm (1969), quien sugirió que las poblaciones aisladas desarrollan distintos cantos que cumplen una importante función de reconocimiento intraespecífico, lo que es comúnmente conocido como el desarrollo de dialectos (Podos & Warren, 2007).

De acuerdo a esta hipótesis, se ha encontrado varios aspectos que pueden contribuir al desarrollo y la persistencia de dialectos locales en especies de Cardinalidae, uno de ellos es el

marcado comportamiento de aprendizaje por parte de los juveniles, quienes imitan el canto de sus padres en las primeras etapas de vida e incrementan su repertorio mediante el contacto con adultos cercanos, y también se ha encontrado que los cardinalidos son más receptivos a cantos de su misma población y no responden a los cantos de regiones distantes (Lemon, 1966; Bader & Parker, 2008).

En el estudio de Lemon (1966), se encontró que el número de sílabas compartidas por las poblaciones de *Cardinalis cardinalis* disminuía a través de la distancia entre localidades. Estos resultados son compatibles con los reportados en este estudio, donde fue posible agrupar las diferentes localidades, mediante las sílabas que compartían en sus cantos (ver figura 25), en el dendograma de agrupamiento, se encontró una mayor afinidad entre localidades más cercanas, puesto que compartían una mayor cantidad de sílabas, por lo tanto las poblaciones de Miranchuritos, estarían presentando dialectos locales, que probablemente se desarrollan y se mantienen gracias a la fidelidad de los individuos a sus territorios de origen y son transmitidos de generación en generación.

La presencia de dialectos en las poblaciones de aves es un elemento que podría actuar como barrera de aislamiento reproductivo, debido a que las hembras prefieren aparearse con machos cuyo canto coincida con el de su población natal, de esta forma la reproducción se da entre los miembros de una misma zona, permitiendo el desarrollo y mantenimiento de un pool genético proveniente de los individuos más exitosos en esa localidad y evitando el cruce entre poblaciones (Tubaro & Segura, Aprendizaje vocal y dialectos de canto en las aves, 1989), teniendo en cuenta esto, las poblaciones de Miranchuritos de las dos zonas evaluadas en este estudio podrían verse afectadas por la diferenciación de sus cantos a tal punto que miembros de BST y B-Alt no puedan reproducirse entre ellos, lo que implicaría procesos incipientes de

especiación, sin embargo la existencia de una diferenciación genética entre poblaciones con distintos dialectos no ha sido confirmada para las especies de Cardinalidae.

La otra hipótesis hace referencia a lo sugerido por Morton, (1975) y Wiley & Richards, (1982) quienes han propuesto que la variación en la estructura del canto se da por una adaptación para resolver el problema de la propagación de señales acústicas a través de grandes distancias y en distintos tipos de ambiente, algunas de esas adaptaciones se dan en ambientes cerrados (bosques densos), los cuales favorecen la transmisión de señales de bajas frecuencias y notas con un ancho de banda estrecho, esto se debe a que las señales de baja frecuencia pueden transmitirse mejor en los ambientes altamente reverberativos de un bosque. Por otra parte, en ambientes abiertos como praderas, las condiciones favorecerían señales con altos valores de frecuencia y un ancho de banda más amplio (Brumm & Slabbekoorn, 2005; Brumm & Naguib, 2009; Brumm, 2006).

Anteriormente se reportó estas características en las 5 especies de *Pheucticus* que habitan desde Argentina a Canadá, en el estudio de Tubaro & Lijtmaer (2006), quienes evaluaron los cantos de especies de hábitats abiertos, cerrados y mixtos, ellos encontraron que todas las especies de *Pheucticus* se encuentran ocupando hábitats mixtos, por lo cual, tienden a presentar cantos con formas intermedias entre las especies típicas de hábitats abiertos y cerrados.

Esta tendencia también se encontró en este estudio, puesto que en BST, se obtuvo los cantos con un ancho de banda más amplio, sin embargo, en las zonas de B-Alt, los cantos presentaron un ancho de banda más estrecho, que es una característica típica en bosques densos, pero las sílabas tienen amplias modulaciones de frecuencia y una alta frecuencia máxima, las cuales son características de zonas abiertas. Estos resultados probablemente son una muestra de la adaptación de esta especie a diferentes tipos de hábitat, ya que *Pheucticus aureoventris*, es una

especie generalista, que aprovecha diferentes recursos existentes tanto en bosques o zonas de pastizales y cultivos, además, no es posible definir a cada zona estudiada como un ecosistema estrictamente abierto o cerrado.

Por otra parte, las diferencias encontradas entre los dos ecosistemas, pueden atribuirse a otras adaptaciones que se dan en las señales vocales, para evitar la atenuación y degradación provocadas por el ruido, aquí es importante mencionar que las grabaciones de las zonas asociadas a B-Alt presentaron cantos con un ancho de banda más estrecho, debido a que su frecuencia mínima fue superior a los 1200 Hz, mucho mayor que los valores de frecuencia mínima en BST (ver figura 29), este hecho se ha descrito como una adaptación para evitar el enmascaramiento causado por el ruido, ya que el ruido abiótico como el viento o agua se produce en bandas de baja frecuencia por debajo de 2 kHz, (Brumm, Voss, Kollmer, & Todt, 2004) y las tres localidades de B-Alt, (Obonuco, Cabrera y Mocondino), se caracterizan por ser lugares ubicados a más de 2700 msnm, donde se presentan vientos fuertes con dirección este-oeste.

En este caso, el ruido del viento de estas localidades, podría ser un factor determinante, que está actuando sobre la estructura del canto, en estas poblaciones de Miranchuritos, ya que en las localidades de BST, la influencia del viento fue casi nula.

A pesar de que no se han reportado estudios del efecto del ruido sobre los cantos de cardinalidos, si se han evaluado en otras especies de aves y los resultados son similares a los encontrados aquí (Brumm, Voss, Kollmer, & Todt, 2004), además, la influencia del viento sobre los cantos de aves ha sido documentada por Potash, (1972) y Lengagne, Aubin, Jouventin, & Lauga, (1999), quienes estudiaron las poblaciones de *Coturnix coturnix japónica* y *Aptenodytes patagonicus* encontrando un incremento en el número de sílabas de los llamados, debido a un incremento en el ruido de fondo ocasionado por el viento, lo cual coincide con los resultados de

esta investigación, ya que los cantos de B-Alt se caracterizaron principalmente por poseer un mayor número de sílabas, esto está relacionado con la estrategia que usa cada especie, para mejorar la detéctabilidad de su señal vocal en ambientes ruidosos, debido a que la detéctabilidad de una señal acústica, mejora considerablemente, cuando se incrementa su duración (Brumm et al, 2003).

Cabe mencionar que la especie *Pheucticus aureoventris* habita zonas rurales y la mayor parte del tiempo permanece cerca a los cultivos, donde generalmente se desarrollan actividades humanas que implican ruido, este factor también podría estar generando estas diferencias en las estructuras acústicas de las dos zonas evaluadas.

CONCLUSIONES

El repertorio vocal de *Pheucticus aureoventris* estuvo conformado por una serie de llamados y cantos que presentaron una estructura compleja y variada. Los llamados registrados en este estudio se formaron por 1-5 sílabas y fueron emitidos por hembras y juveniles, mientras que los cantos presentaron una marcada variación intraespecífica, que se vio reflejada en una amplia composición de sílabas.

Existen diferencias significativas de frecuencia, duración y número de sílabas en los cantos de las dos zonas de estudio, las vocalizaciones de zonas asociadas a Bosque Altoandino presentaron cantos con un ancho de banda estrecho y un mayor número de sílabas, y en las zonas asociadas a Bosque Seco Tropical los cantos fueron cortos y con un rango de frecuencias mayor. Estas diferencias se presentan como una respuesta para transmitir la información de forma eficiente ante las características del paisaje o el ruido de fondo.

La composición de sílabas de los cantos presentó variación a través de las localidades muestreadas en los dos ecosistemas, pero se encontró una mayor similitud entre localidades más cercanas, lo que probablemente se relaciona con conductas de aprendizaje e imitación propias de *cardinalis*.

RECOMENDACIONES

Es necesario continuar investigaciones posteriores, evaluando de forma más rigurosa las características ambientales de los ecosistemas y el comportamiento de los individuos.

Es importante realizar las grabaciones en la misma época del año, teniendo en cuenta el ciclo anual de la especie y la oferta de recursos en cada ecosistema, debido a que estos factores están estrechamente relacionados con el comportamiento vocal de la especie.

Es necesario ampliar el tiempo de muestreo en campo. Para obtener un mayor número de grabaciones y brindar un repertorio más completo del canto de la especie.

La relación encontrada entre los cantos de las diferentes localidades es un resultado interesante que podría evaluarse de forma más profunda a una escala regional.

Bibliografía

- Alcock, J. (2009). *Animal Behavior And Evolutionary Approach*. Sunderland: Sinauer Associates.
- Amador, A., Goller, F., & Mindlin, G. (2008). Frequency modulation during song in a suboscine does not require vocal muscles. *Journal of Neurophysiology* 99, 2383.
- Anderson, B., & Daugherty, R. (1974). Characteristics and reproductive biology of grosbeaks (*Pheucticus*) in the hybrid zone in South Dakota. *Wilson Bulletin* 86, 1-11.
- Arch, T., Collado, C., & Morales, M. (2004). Comunicación y comportamiento auditivo obtenidos por medio de los potenciales evocados auditivos en mamíferos, aves, anfibios y reptiles. *Cir Ciruj*, 309-315.
- Baptista, L. (1996). Nature and its nurturing in avian vocal development. En D. Kroodsma, & E. Miller, *Ecology and evolution of acoustic communication in birds*. (págs. 39-60). Ithaca, NY: Cornell University Press.
- Beecher, M., & Brenowitz, E. (2005). Functional aspects of song learning in song birds. . *Trends in Ecology and Evolution* 20, 143–149.
- Beecher, M., & Brenowitz, E. (2005). Functional aspects of song learning in song birds. *Trends in Ecology and Evolution*, 143–149.
- Botero, C., Mudge, A., Koltz, A., Hochachka, W., & Vehrencamp, S. (2008). ¿How Reliable are the Methods for Estimating Repertoire Size? *Ethology*, 1227–1238.
- Brewer, D., & De Juana, E. (2014). Black-backed Grosbeak (*Pheucticus aureoventris*). En J. Del Hoyo, A. Elliott, J. Sargatal, D. Christie, & E. de Juana, *Handbook of the Birds of the World Alive*. Barcelona: Lynx Edicions.
- Briefer, E., Aubin, T., & Rybak, F. (2009). Response to displaced neighbours in a territorial songbird with a large repertoire. *Natur wissens chaften* 96 (9), 1067-1077.
- Brumm, H. (2006). Animal communication: city birds have changed their tune. *Current Biology*, 1003-1004.
- Brumm, H., & Naguib, M. (2009). Environmental acoustics and the evolution of bird song. *Advances in the Study of Behavior* 40, 1-33.
- Brumm, H., & Slabbekoorn, H. (2005). Acoustic communication in noise. *Advances in the Study of Behavior* 35, 151-209 .

- Brumm, H., Voss, K., Kollmer, I., & Todt, D. (2004). Acoustic communication in noise: regulation of call characteristics in a New World monkey. *Journal of Experimental Biology* 207, 443-448.
- Byers, E., & Kroodsma, D. (2008). Female mate choice and songbird song repertoires. *Animal Behaviour* 77, 13-22.
- Catchpole, C., & Slater, P. (2008). *The study of bird song. En Bird Song: Biological Themes and Variations*. UK: Cambridge University Press. Pp 2-10.
- Caycedo, P., Ruiz, J., & Orozco, M. (2013). Reconocimiento automatizado de señales bioacústicas: Una revisión de métodos y aplicaciones. *Ingeniería y Ciencia* 9 (18), 171-195.
- Colwell, R. (4 de Diciembre de 2009). *EstimateS: Statistical Estimation of Species Richness and Shared Species from Samples*. Recuperado el 17 de Octubre de 2015, de User's Guide and application : <http://purl.oclc.org/estimates>
- Del Hoyo, J., Elliott, A., Sargatal, J., Christie, D., & De Juana, E. (2014). *Handbook of the Birds of the World Alive*. Barcelona: Lynx Edicions.
- Dickinson, A. (2012). Associative learning and animal cognition. *Philos Trans R Soc Lond B*, 367, 2735.
- Dunham, D. (1965). Territorial and Sexual Behavior in the Rose-Breasted Grosbeak, *Pheucticus Ludovicianus* (L). *Laboratory of Ornithology Cornell University. New York. USA.*, 438-449.
- Emlen, S. (1971). Geographic variation in Indigo Bunting song (*Passerina cyanea*). *Animal Behaviour* 19, 407-408.
- Evans, C., & Evans, L. (2007). Representational signaling in birds. *Biology Letters*, 8-11.
- Fajardo, L., Gonzales, J., Nassar, P., Lacabana, C., Portillo, F., Carrasquel, J., y otros. (2005). Tropical dry forests of Venezuela: Characterization and current conservation status. *Biotropica* 37, 531-546.
- Fjeldsa, J., & Krabbe, N. (1990). Birds of the high Andes. *Zoological Museum, University of Copenhagen and Apollo Books, Svendborg, Denmark*, 558-559.
- Futahashi, R., Kawaharai, R., Kinoshita, M., Yoshitake, K., Yajima, S., Arikawa, K., y otros. (2015). Extraordinary diversity of visual opsin genes in dragonflies. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 112(11), 1247-1256.
- Geberzahn, N., & Hultsch, H. (2004). Rules of song development and their use in vocal interactions by birds with large repertoires. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, 209-218.

- Gutiérrez, Z., & Rojas, Z. (2001). *Dinámica anual de la interacción colibrí-flor en ecosistemas altoandinos del volcán Galeras (sur de Colombia)*. Bogota: Tesis de Biología Universidad Nacional de Colombia.
- Gutierrez, Z., Mueses, C., Ramirez, E., & Perdomo, C. (2013). *Aves del Valle del Sibundoy, Alto Putumayo, Colombia, Guía de Campo*. Putumayo: CORPOAMAZONIA.
- Hesler, N., Mundry, R., & Dabelsteen, T. (2011). ¿Does song repertoire size in Common Blackbirds play a role in an intra-sexual context? *J Ornithol* 152, 591–601.
- Hilty, S., & Brown, W. (2001). *Guía de las Aves de Colombia*. Bogotá: Imprelibros S.A.
- Holdridge, L. (1967). *Life zone ecology*. San Jose, Costa Rica: Tropical Science Center.
- Hortal, J., & Lobo, J. (2002). Una metodología para predecir la distribución espacial de la diversidad biológica. *Ecología (n.s.)*, 16, 151-178.
- Jaramillo, J. (2007). *Acústica: la ciencia del sonido*. Bogota: Edit. ITM.
- Jawor, J., & MacDougall, S. (2008). Seasonal and sex related variation in song control nuclei in a species with near-monomorphic song, the northern cardinal. *Neuroscience Letters* 443 (3), 169-173.
- kaplan, G. (2014). Animal communication. *Wires Cogn Sci*, 661 677.
- Kemp, C., & Kaplan, G. (2012). Olfactory Cues Modify and Enhance Responses to Visual Cues in the Common Marmoset (*Callithrix jacchus*). *J Primatol* 1:102, 102.
- King, A. (1988). Functional anatomy of the syrinx. *Form and function in birds*, 105-192.
- Klump, G., & Shalter, M. (1984). Acoustic Behaviour of Birds and Mammals in the Predator Context; I. Factors Affecting the Structure of Alarm Signals. II. The Functional Significance and Evolution of Alarm Signals. *Zeitschrift für Tierpsychologie*, 189-266.
- Kroodsma, D., & Miller, E. (1996). *Ecology and evolution of acoustic communication in birds*. Ithaca, NY: Cornell UP.
- Kroodsma, R. (1974). Hybridization in Grosbeaks (*Pheucticus*) in North Dakota. *The Wilson Bulletin*, 86 (3), 230-236.
- Kulahci, I., Drea, C., Rubenstein, D., & Ghazanfar, A. (2014). Individual recognition through auditory–olfactory matching in lemurs. *Proc. R. Soc. Lond. B*, 270.
- Laiolo, P. (2010). The emerging significance of bioacoustics in animal species conservation. *Biol Conserv* 143, 1635–1645.

- Laiolo, P., & Tella, J. (2006). Landscape bioacoustics allows detection of the effects of habitat patchiness on population structure. *Ecology* 87, 1203-1214.
- Lemon, R. (1966). Geographic variation in the song of cardinals. *Canadian Journal of Zoology* 44, 413-428.
- Lemon, R. (1967). The response of cardinals to songs of different dialects. *Animal Behaviour* 15, 538-545.
- Lengagne, T., Aubin, T., Jouventin, P., & Lauga, J. (1999). Acoustic communication in a king penguin colony: importance of bird location within the colony and of the body position of the listener. *Polar Biology* 21, 262-268.
- Lesley, J., & Kaplan, G. (2000). *Songs, Roars and Rituals, Communication in Birds, Mammals, and Other Animals*. Cambridge: Harvard University Press.
- Manser, M., Seyfarth, R., & Cheney, D. (2001). Suricate alarm calls signal predator class and urgency. *Trends in Cognitive Science*, 55-57.
- Marler, P. (2004). Bird Calls: Their Potential for Behavioral Neurobiology. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 31-44.
- Marler, P. (2004). Innateness and the instinct to learn. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, 189-200.
- Marler, P., & Slabbekoorn, H. (2004). *Nature's Music. The Science of Birdsong*. San Diego: AcademicPress/Elsevier.
- Menini, A. (2010). The neurobiology of olfaction. *Bioscience Net Base*, 450.
- Miles, L., Newton, A., De Fries, R., Ravilious, C., May, I., Blyth, S., y otros. (2006). A global overview of the conservation status of tropical dry forests. *Journal of Biogeography* 33 (3), 491-505.
- Mindlin, G., & Laje, R. (2005). *The Physics of Birdsong. Biological and Medical Physics, Biomedical Engineering*. Buenos Aires: Springer.
- Morton, E. (1975). Ecological sources of selection on avian sounds. *American Naturalist* 109, 17-34.
- Moser, M., & Barros, J. (2009). *Ingeniería Acústica Teoría y Aplicaciones 2da Ed*. Berlin : Springer-Verlag.
- Murphy, P., & Lugo, A. (1986). Ecology of tropical dry forest. *Annual Review of Ecology and Systematics*, 67-88.
- Niven, J., & Laughlin, S. (2008). Energy limitation as a selective pressure on the evolution of sensory systems. *J Exp Biol*, 1792-1800.
- Nottebohm, F. (1969). The song of the chingolo, *Zonotrichia capensis*, in Argentina: description and evaluation of a system of dialects. *The Condor*, 71(3), 299-315.

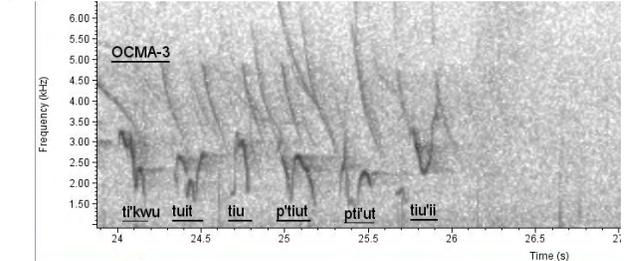
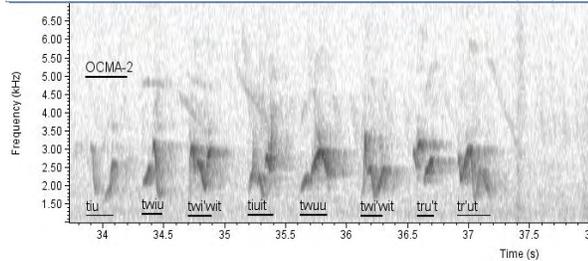
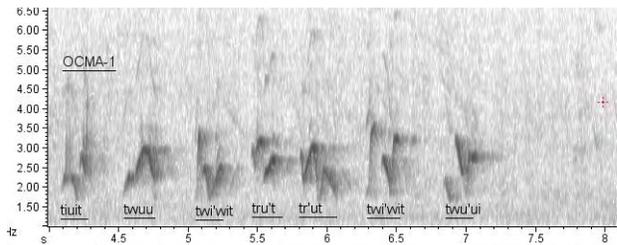
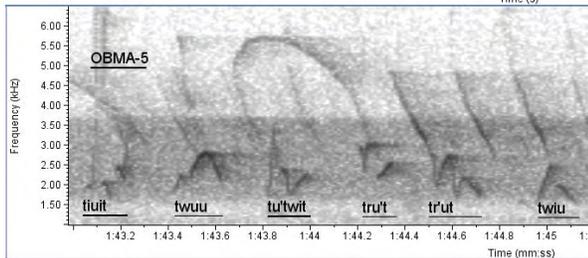
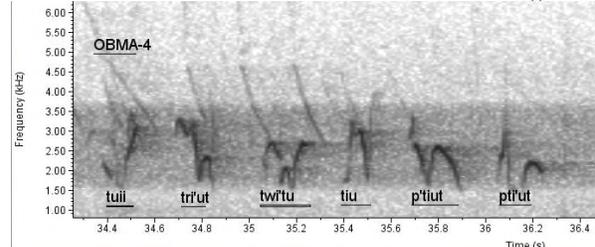
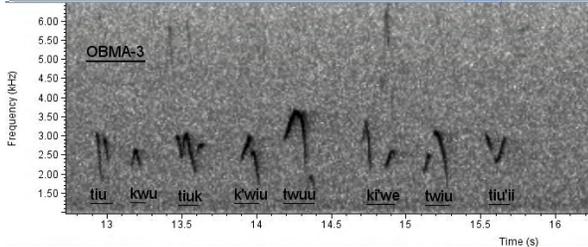
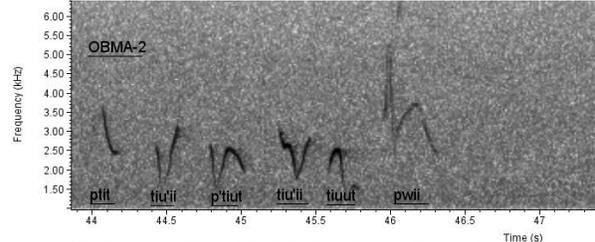
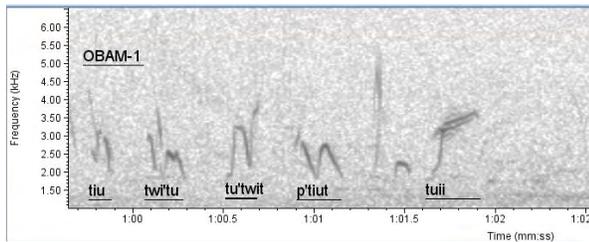
- Obrist, M., Pavan, G., Sueur, J., Riede, K., Llusia, D., & Márquez, R. (2010). Bioacoustic approaches in biodiversity inventories. En *Manual on Field Recording Techniques and Protocols for All Taxa Biodiversity Inventories* (págs. 68-99.). NY: Abc Taxa, Vol. 8.
- Pacheco, N. (2008). Distribuição de rei-do-bosque (*Pheucticus aureoventris*, Cardinalidae) no Brasil: revisão dos registros históricos e recentes . *Atualidades Ornitológicas On-line* N° 142, 50-58.
- Palmero, A., Illera, C., & Laiolo, P. (2012). Song characterization in the spectacled warbler (*Sylvia conspicillata*): a circum-Mediterranean species with a complex song structure. *Bioacoustics The International Journal of Animal Sound and its Recording* 21:3, 175-191.
- Podos, J., & Warren, P. (2007). The evolution of geographic variation in birdsong. *Advances in the Study of Behavior*, 37, 403-458.
- Popper, A., & Fay, R. (1997). Evolution of the ear and hearing: issues and questions. *Brain Behav Evol*; 50 (4), 213-21.
- Potash, L. (1972). Noise-induced changes in calls of the Japanese quail. *Psychonomic Science* 26, 252–254.
- Pulgarin, R., Smith, T., Bryson, J., Spellman, G., & Klicka, J. (2013). Multilocus phylogeny and biogeography of the New World *Pheucticus* grosbeaks (Aves: Cardinalidae). *Molecular Phylogenetics And Evolution*, 1222.
- Raichel, D. (2006). *The Science and Applications of Acoustics, second edition* . . Berlin: Springer.
- Riaño, L., Lasso, J., Martínez, J., Delgado, J., Ramos, R. R., & Muñoz, V. (2004). sistema de gestion ambiental municipal (SIGAM). Agenda Ambiental Municipio de Pasto. *Plan Ambiental y Plan de Accion*, 549.
- Ritchinson, G. (1985). Vocalization of the black-headed grosbeak. *Western Birds* 16, 143-145.
- Ritchison, G. (1983). Response of Black-headed Grosbeaks to songs of conspecifics. . *Wilson Bulletin* 95, 132-138.
- Ritchison, G. (1988). Song repertoires and the singing behavior of male Northern Cardinals. *Wilson Bulletin* 100, 583-603.
- Schook, D., Collins, M., Jensen, W., Williams, P., Bader, N., & Parker, T. (2008). Geographic patterns of song similarity in the Dickcissel (*Spiza americana*). . *The Auk*, 125(4), 953-964.
- Seyfarth, R., Cheney, D., Bergman, T., Fischer, J., Zuberbuhler, K., & Hammerschmidt, K. (2010). *The central importance of information in studies of animal communication*. . *Animal Behaviour* 80: 3-8.
- Stegmann, U. (2013). *Animal Communication Theory: Information and Influence*. *Cambridge University Press*, 23-52.

- Stein, R. (1968). Modulation in bird sounds. *The Auk*, 229-243.
- Suthers, R. (1997). Peripheral Control and Lateralization of Birdsong. *Current Ornithology* 14, 235–288.
- Suthers, R. (2001). Peripheral vocal mechanisms in birds: are songbirds special? . *Netherlands Journal of Zoology* , 10-12.
- Suthers, R., & Zollinger, S. (2004). Producing song: the vocal apparatus. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 109-129.
- Templeton, C., Greene, E., & Davis, K. (2005). Allometry of alarm calls: black-capped chicka. *Science*, 1934-1937.
- Tipler, P., & Mosca, G. (2005). *Física para la Ciencia y la Tecnología, Vol 1* . Bogota : Ed. Reverté.
- Tipler, P., & Mosca, G. (2005). *Física para la Ciencia y la Tecnología, Vol 1* . Bogota: Ed. Reverté.
- Tubaro, P. (1999). Bioacústica aplicada a la sistemática, conservación y manejo de Poblaciones naturales de aves. *Sociedad Española de Etología Vol 7*, 19-32.
- Tubaro, P., & Lijtmaer, D. (2006). Environmental correlates of song structure in forest grosbeaks and saltators. *The Condor*, 108(1), 120-129.
- Tubaro, P., & Segura, E. (1989). Aprendizaje vocal y dialectos de canto en las aves. *Revista Latinoamericana de Psicología*, 21, 195-217.
- Wessel, D. (1979). Timbre Space as Musical Control Structure. *Computer Music Journal*, 42-52.
- White, T., Dalrymple, R., Noble, D., O'Hanlon, J., Zurek, D., & Umbers, K. (2015). Reproducible research in the study of biological coloration. *Animal Behaviour*, 51–57.
- Wiley, R., & Richards, D. (1982). Adaptations for acoustic communication in birds: sound transmission and signal detection. En D. Kroodsma, E. Miller, & H. Ouellet, *Acoustic Communication in Birds* (págs. 131–181). New York: Academic Press.
- Wilson, J., & Buffa, A. (2003). *Física. Quinta edición*. New York: Pearson Educación.

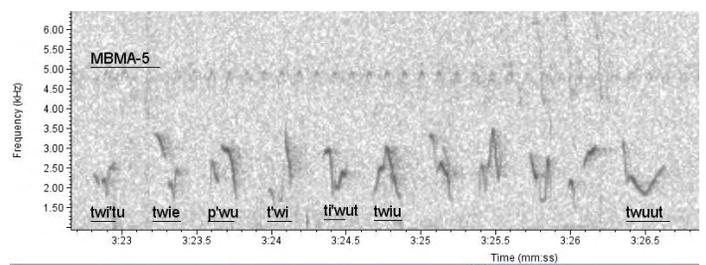
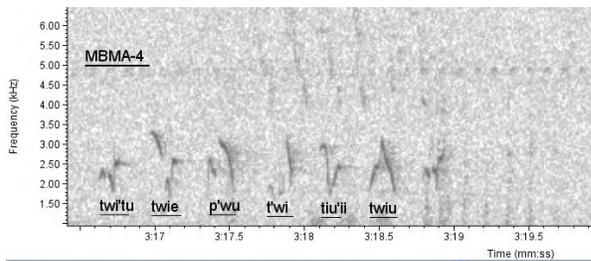
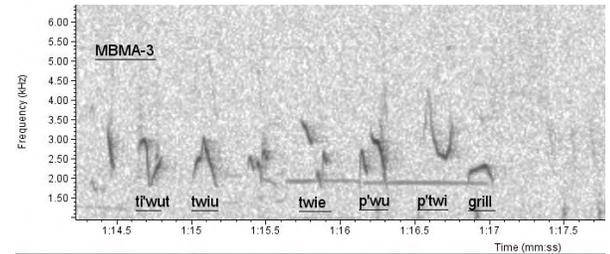
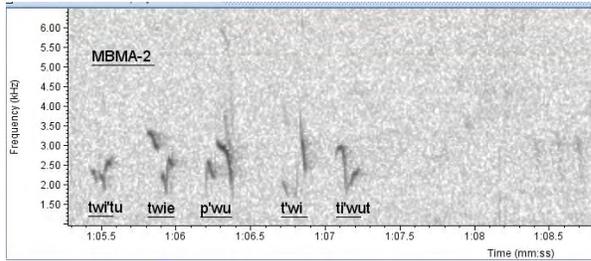
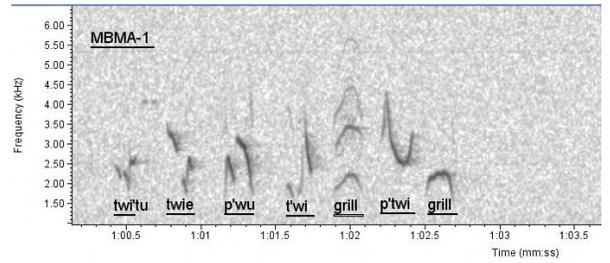
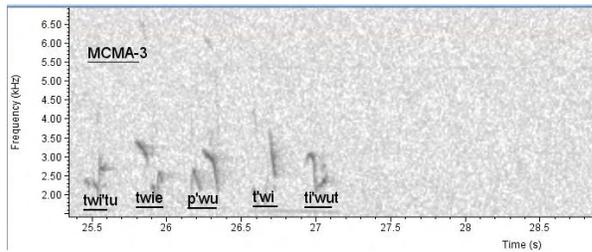
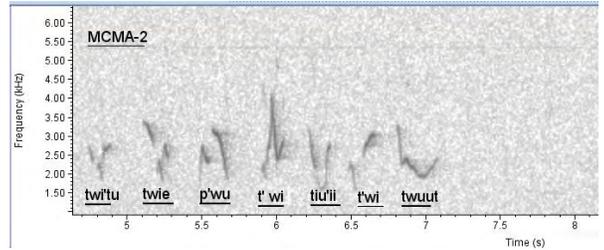
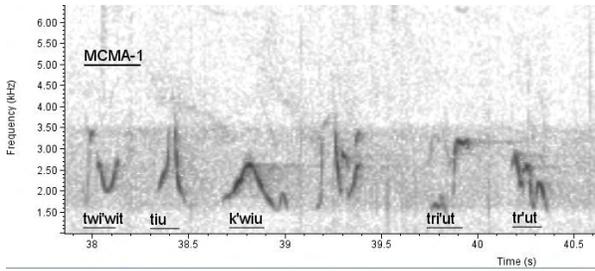
ANEXO 1

A continuación se indican los sonogramas con algunos cantos emitidos en cada localidad, en las figuras aparece el código asignado a las grabaciones y los nombres de las silabas. Se asignó los códigos de acuerdo a la localidad de grabación, siendo O: Obonuco, M: Mocondino, C: Cabrera, RM: Rio Mayo, QL: Quebrada Lorenzo y SA: San Antonio, después de la inicial de la localidad aparece la inicial del tipo de hábitat; B: Bosque y C: cultivo, en seguida se indica la edad de los individuos y el sexo, en todos los casos los individuos fueron machos adultos. Por ejemplo en el primer sonograma el código OBMA-1 corresponde al primer canto grabado en Obonuco en bosque por un adulto macho.

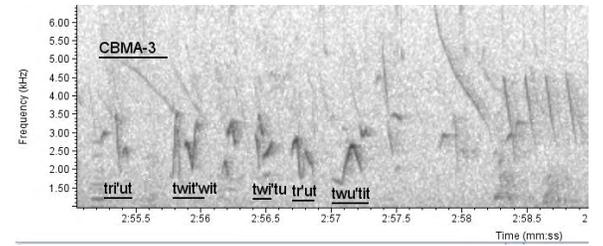
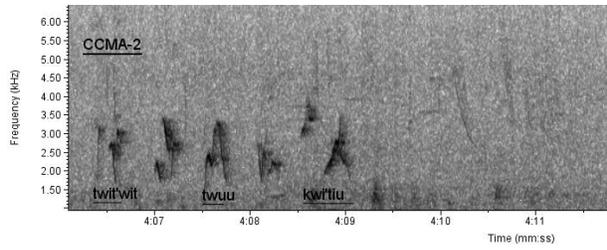
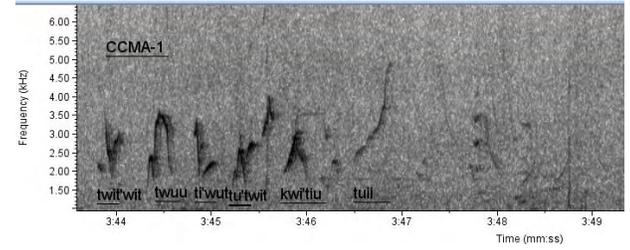
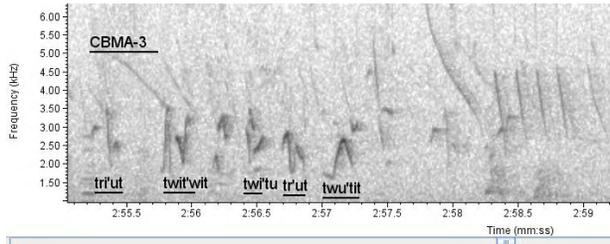
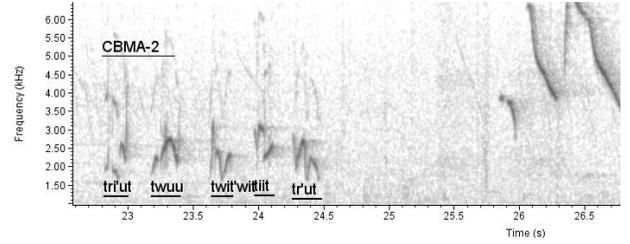
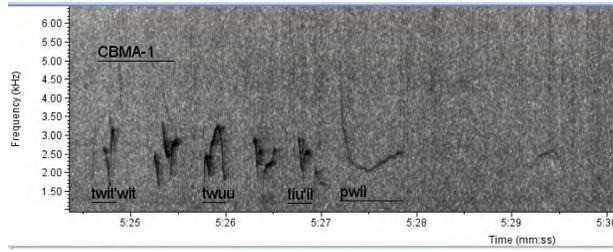
Cantos Obonuco



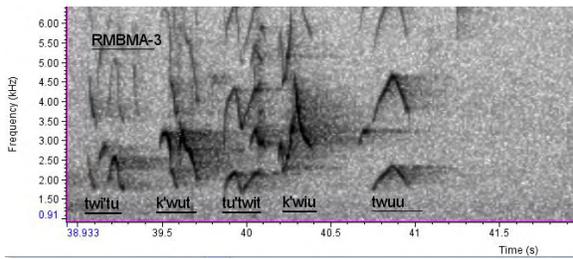
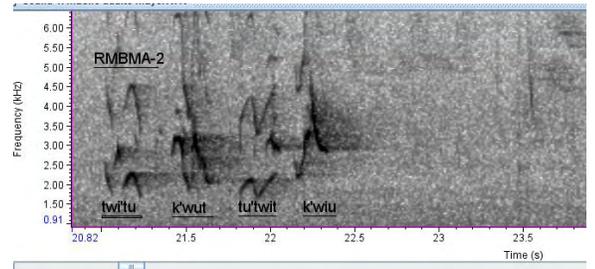
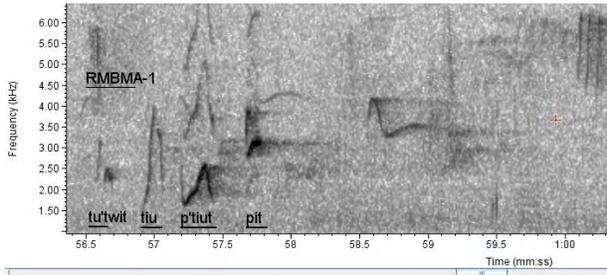
Cantos de Mocondino



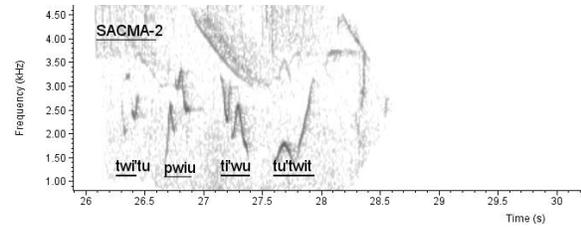
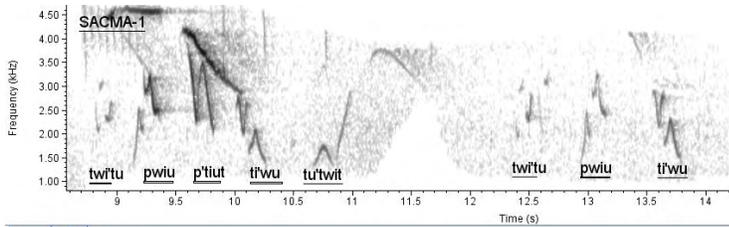
Cantos Cabrera



Cantos Rio Mayo



Cantos San Antonio



Cantos quebrada Lorenzo

