



Universidad de Concepción
Dirección de Postgrado
Facultad de Ciencias Naturales y Oceanográficas
Programa de Magíster en Ciencias con mención en Zoología

Efecto de la estructura del hábitat en las vocalizaciones y estudio de repertorio y actividad vocal de cinco especies de la familia Rhinocryptidae

Tesis para optar al grado de
Magíster en Ciencias con mención en Zoología

Por: Sebastián Calderón Quiroga
Profesora Guía: Dra. Lucila Moreno
Profesor Co-Guía: Dr. Heraldo Norambuena

Marzo 2022
Concepción, Chile.

Profesora Guía

Dra. Lucila Moreno

Profesor Co-Guía

Dr. Heraldo Norambuena

Comisión Evaluadora

Dr. Pedro Victoriano

Dr. Cristóbal Pizarro

Tabla de Contenido

Agradecimientos	5
Índice	6
Resumen	13
Abstract	14
Capítulo I: Efecto de la estructura del hábitat en las vocalizaciones de cinco especies de la familia Rhinocryptidae	15
Introducción	15
Materiales y Métodos	22
1.- Sitio de estudio	22
2.- Monitoreo acústico pasivo	23
3.- Cobertura del dosel / índice de área foliar (IAF) y estructura del hábitat	26
4.- Análisis de la información	28
Resultados	30
1. - Descripción y análisis de los cantos.....	31
2.- Ambiente y relación con las vocalizaciones	42
Discusión	49
Literatura Citada	59
Capítulo II: Estudio de repertorio y actividad vocal de cinco especies de rinocriptidos chilenos	66
Introducción	66
Materiales y Métodos	69
Resultados	71
1.- Descripción de los cantos y Rangos de actividad Vocal	71
1.1.- <i>Scelorchilus rubecula</i> (Chucao)	71
1.2.- <i>Eugralla paradoxa</i> (Churrín de la Mocha):	78

1.4.- <i>Scytalopus fuscus</i> (Churrín del Norte)	85
1.5.- <i>Pterotochos castaneus</i> (Hued Hued castaño)	87
Discusión	92
Conclusiones Generales	98
Literatura Citada:	100
Anexo Capítulo I	105

Agradecimientos

Agradezco a la Dra. Lucila Moreno y al Dr. Heraldo Norambuena que a pesar del acontecer nacional de la pandemia me entregaron su apoyo y orientación durante mi postgrado para así poder realizar correctamente este seminario

Agradecer a mis compañeras de laboratorio Camila Cifuentes y Javiera Cuevas por el apoyo en los muestreos en terreno

Agradecer a mi Familia, pareja y amigos por su aguante y apoyo incondicional para el desarrollo de mi vida profesional.

Índice

Índice de Figuras Capítulo I

- Figura 1.** Mapa de la ubicación de los puntos de muestreo del estudio emplazados en Concepción, Región del Bio-Bio, Chile. Puntos emplazados en la Quebrada (“Puntos_QUBR”; rombo amarillo), Puntos emplazados en la Plantación (“Puntos_PLNT”; rombo rojo) y Puntos emplazados en el Bosque (“Puntos_BN”; rombo verde)30
- Figura 2.** Sonogramas de las vocalizaciones obtenidas para *S. rubecula*. (I) Vocalización de llamada común “V_CHU”, (II) Vocalización de contacto “C2_CHU”, (III) Vocalización de contacto “C3_CHU”, (IV) Vocalización de contacto “C4_CHU”, (V) Vocalización de contacto “C5_CHU” y (VI) Vocalización de contacto “C6_CHU”32
- Figura 3.** Sonogramas de las vocalizaciones obtenidas para *E. paradoxa*. (I) Vocalización de llamada común “V_CM”, (II) Vocalización de contacto “C3_CM”, (III) Variación de la vocalización de contacto “C3_CM” y (IV) Vocalización de contacto “C4_CM”35
- Figura 4.** Sonograma de la vocalización registrada para *S. magellanicus*. (I) Vocalización de contacto “C1_CS”38
- Figura 5.** Sonogramas de la vocalización obtenida para *S. fuscus*. (I) Vocalización de llamada común “V_CN”39
- Figura 6.** Sonogramas de las vocalizaciones obtenidas para *P. castaneus*. (I) Vocalización de llamada común “V_HH”, (II) Vocalización de contacto “C2_HH” y (III) Variación de la vocalización de contacto “C1_HH”40

Índice de Figuras Capítulo II

- Fig. 1:** Sonogramas de las vocalizaciones obtenidas para *S. rubecula*. (I) Vocalización de llamada común “V_CHU”, (II) Vocalización de contacto “C2_CHU”, (III) Vocalización de contacto “C3_CHU”, (IV) Vocalización de contacto “C4_CHU”, (V) Vocalización de contacto “C5_CHU” y (VI) Vocalización de contacto “C6_CHU”.....72
- Fig. 2:** Sonogramas de las variaciones observadas de la vocalización de llamada común de *S. rubecula* (I):.....73
- Fig. 3:** Rango de actividad vocal total de la vocalización de llamada (“A: V_CHU”) y los contactos (“B: C4_CHU” y “C: C6_CHU”) de *S. rubecula* presentes en los tres hábitats del estudio (Bosque: Verde; Plantación: Azul; Quebrada: Amarillo). La imagen superior derecha muestra el sonograma de las vocalizaciones respectivas.....77
- Fig. 4:** Sonogramas de las vocalizaciones obtenidas para *E. paradoxa*. (I) Vocalización de llamada común “V_CM”, (II) Vocalización de contacto “C3_CM”, (III) Variación de la vocalización de contacto “C3_CM” y (IV) Vocalización de contacto “C4_CM”.....79
- Fig. 5:** Sonogramas de las variaciones a nivel de cantidad de notas de la vocalización de llamada “V_CM” de *E. paradoxa*. (I) Vocalización con número de notas común..80
- Fig. 6:** Rango de actividad vocal total de la vocalización de llamada (“A: V_CM”) y contactos (“B: C3_CM” y “C: C4_CM”) de *E. paradoxa* presentes en los tres hábitats del estudio (Bosque: Verde; Plantación: Azul; Quebrada: Amarillo). La imagen superior derecha muestra el sonograma de las vocalizaciones respectivas83
- Fig. 7:** Sonograma de la vocalización registrada para *S. magellanicus*. (I) Vocalización de contacto “C1_CS”84
- Fig. 8:** Sonogramas de la vocalización obtenida para *S. fuscus*. (I) Vocalización de llamada común “V_CN”.....85
- Fig. 9:** Rango de actividad vocal total de la vocalización de llamada (I: V_CN) de *S. fuscus*. La imagen superior derecha muestra el sonograma de la vocalización de llamada.....87
- Fig. 10:** Sonogramas de las vocalizaciones obtenidas para *P. castaneus*. (I) Vocalización de llamada común “V_HH”, (II) Vocalización de contacto “C2_HH” y (III) Vocalización de contacto “C1_HH”89
- Fig. 11:** Rango de actividad vocal total de la vocalización de llamada (“A: V_HH”) y de contacto (“B: C2_HH”) de *P. castaneus*. La imagen superior derecha muestra el sonograma de la vocalización de llamada.....91

Índice de Tablas Capítulo I

Tabla 1. Número de grabaciones obtenidas para las especies del estudio; *S. rubecula*, *E. paradoxa*, *S. magellanicus*, *S. fuscus* y *P. castaneus* en cada tipo de hábitat. Se muestran las vocalizaciones de llamada común (Voc) y las vocalizaciones de contacto (“C_X”; x= número).....30

Tabla 2. Resumen de los valores promedios de las vocalizaciones de *S. rubecula* registradas (Vocalización de llamada “V_CHU” y vocalizaciones de contacto “C4_CHU / C6_CHU”) en los tres tipos de hábitat del estudio Bosque (B), Plantación (P) y Quebrada (Q). Frecuencia Máxima (F. máx). Frecuencia mínima (F. min). Frecuencia de Máxima Amplitud (FMA). Tiempo total de la Vocalización (TTV).....31

Tabla 3. Tabla resumen de la prueba Kruskal-Wallis. Se muestra el valor del estadístico, el valor (p), la significancia para el estudio para las tres vocalizaciones registradas, vocalización de llamada (I: V_CHU) y las vocalizaciones de contacto (II: C4_CHU y III: C6_CHU). Frecuencia Máxima (F.max), Frecuencia Mínima (F.min), Frecuencia de Máxima Amplitud (FMA) y el Tiempo Total de la Vocalización (TTV). Se muestran en negrita aquellas variables que poseen diferencias estadísticamente significativas.....33

Tabla 4. Resumen de los valores promedios de las vocalizaciones de *E. paradoxa* presentes (Vocalización de llamada común I: “V_CM” y vocalizaciones de contacto II: “C3_CM / III: C4_CM”) en los tres tipos de hábitat del estudio: Bosque (B), Plantación (P) y Quebrada (Q). Frecuencia Máxima (F. máx). Frecuencia mínima (F. min). Frecuencia de Máxima Amplitud (FMA). Tiempo total de la Vocalización (TTV). “///” ausencia de la vocalización en el hábitat de la plantación.....36

Tabla 5. Tabla resumen de la prueba Kruskal-Wallis obteniendo el valor del estadístico, el valor (p), la significancia para el estudio para las tres vocalizaciones registradas, vocalización de llamada (I: V_CM) y las vocalizaciones de contacto (II: C3_CM y III: C4_CM). Frecuencia Máxima (F.max), Frecuencia Mínima (F.min), Frecuencia de Máxima Amplitud (FMA) y el Tiempo Total de la Vocalización (TTV). Resaltado en negrita aquellas variables que poseen diferencias estadísticamente significativas.....37

Tabla 6. Resumen de los valores promedio de la vocalización de llamada de *S. fuscus* (V_CN) presente en los tres tipos de hábitat del estudio: Bosque (B), Plantación (P) y Quebrada (Q). Frecuencia Máxima (F. máx). Frecuencia mínima

(F. min). Frecuencia de Máxima Amplitud (FMA). Tiempo total de la Vocalización (TTV).....39

Tabla 7. Tabla resumen de la prueba Kruskal-Wallis obteniendo el valor del estadístico, el valor (p), la significancia para el estudio para la vocalización registrada, vocalización de llamada (V_CN). Frecuencia Máxima (F.max), Frecuencia Mínima (F.min), Frecuencia de Máxima Amplitud (FMA) y el Tiempo Total de la Vocalización (TTV).....39

Tabla 8. Resumen de los valores promedios de las vocalizaciones (Vocalización de llamada I: V_HH; Vocalizaciones de contacto II: C1_HH y III.- C2_HH) de *P. castaneus* en los tres tipos de hábitat del estudio: Bosque (B), Plantación (P) y Quebrada (Q). Frecuencia Máxima (F. máx). Frecuencia mínima (F. min). Frecuencia de Máxima Amplitud (FMA). Tiempo total de la Vocalización (TTV).....41

Tabla 9. Tabla resumen de la prueba Kruskal-Wallis obteniendo el valor del estadístico, el valor (p), la significancia para el estudio para las dos vocalizaciones registradas, vocalizaciones de contacto (I: C1_HH y II: C2_HH). Frecuencia Máxima (F. máx.), Frecuencia Mínima (F. min), Frecuencia de Máxima Amplitud (FMA) y el Tiempo Total de la Vocalización (TTV). Resaltado en negrita aquellas variables que poseen diferencias estadísticamente significativas.....42

Tabla 10. Número de individuos y su equivalencia en porcentaje de las especies vegetales registradas en las categorías de ≥ 20 cm, ≥ 80 cm y < 80 cm para el Bosque.....43

Tabla 11. Número de individuos y su equivalencia en porcentaje de las especies vegetales registradas en las categorías de ≥ 20 cm, ≥ 80 cm y < 80 cm para la Plantación.....44

Tabla 12. Número de individuos y su equivalencia en porcentaje de las especies vegetales registradas en las categorías de ≥ 20 cm, ≥ 80 cm y < 80 cm para la Quebrada.....44

Tabla 13. Tabla resumen de los valores de apertura del dosel (%CO), cobertura del dosel (%CC) y la estimación del índice de área foliar (IAF) para cada uno de los tipos de hábitat del estudio.....45

Índice de Tablas Capítulo II

Tabla 1: Resumen del número de vocalizaciones obtenidas por tipo de hábitat para <i>S. rubecula</i> . Vocalización de llamada común (V_CHU). Vocalizaciones de contacto (C(n)_CHU [n: número del contacto]). Presente (P). Ausente (A)	74
Tabla 2: Rango de horarios de la actividad vocal compartidas entre los tres hábitats del estudio para <i>S. rubecula</i>	76
Tabla 3: Rango de horarios de la actividad vocal compartidas entre los tres hábitats del estudio para <i>E. paradoxa</i>	82
Tabla 4: Tabla resumen de la actividad vocal compartida entre los tres hábitats del estudio para la vocalización registrada para <i>S. fuscus</i>	86
Tabla 5: Rango de horarios de la actividad vocal compartidas entre los tres hábitats del estudio para <i>P. castaneus</i>	7190

Esta Tesis es estructurada en dos capítulos los cuales consideran las siguientes hipótesis y objetivos

Capítulo I: Efecto de la Estructura del hábitat en las vocalizaciones de cinco especies de rinocriptidos chilenos

Este capítulo pone a prueba una de las predicciones de la Hipótesis de adaptación acústica la cual corresponde a:

“La estructura del hábitat en donde se encuentran las aves influye en la estructura y valores de frecuencia de las vocalizaciones, prediciendo que en ambientes abiertos (menor cobertura del dosel) presentaran valores de frecuencia mínima mayor y tiempo total de la vocalización menor.”

Y lleva a cabo los siguientes objetivos:

El objetivo general de esta investigación es evaluar el efecto de la estructura del hábitat en las vocalizaciones de especies de la familia Rhinocryptidae, mediante el uso de un monitoreo acústico pasivo.

Específicamente se llevó a cabo:

- 1) Determinación de los valores de frecuencia (máxima, mínima, tiempo, frecuencia de máxima amplitud) de las vocalizaciones de cada especie.
- 2) Determinación de los valores de las variables estructurales del canto (número de notas, tiempo total de la vocalización).
- 3) Determinación de las variables ambientales (Cobertura de dosel, IAF, composición , estructura vegetacional).

4) Evaluación el efecto de la cobertura vegetal en las frecuencias de las cinco especies de aves estudiadas.

Capítulo II: Estudio de repertorio y actividad vocal de cinco especies de rinocriptidos chilenos

Este capítulo corresponde a un estudio descriptivo de las vocalizaciones de las especies de rinocriptidos chilenos debido a los escasos estudios bioacústicos referenciales para rinocriptidos chilenos.

El objetivo general de este capítulo es caracterizar el repertorio y el rango de actividad vocal de cinco especies de rinocriptidos chilenos, donde específicamente se realizó:

- 1) Determinación de las vocalizaciones de cada una de las especies del estudio.
- 2) Determinación del rango y actividad vocal de las especies.
- 3) Comparación de las vocalizaciones y los rangos vocales entre los ambientes del estudio.

Efecto de la estructura del hábitat en las vocalizaciones de cinco especies de la familia Rhinocryptidae y determinación de su repertorio y actividad vocal

Resumen

La hipótesis de la adaptación acústica (HAA) establece que la estructura del hábitat condiciona las propiedades acústicas de las especies animales. Para poner a prueba esta hipótesis se seleccionaron cinco especies de la familia Rhinocryptidae presentes en el centro sur de Chile. Estas especies se caracterizan por ser especialistas de ambientes boscosos y están catalogadas como especies bio-indicadoras del grado de naturalidad del bosque. Considerando que la pérdida y fragmentación del hábitat tiene efectos negativos sobre la riqueza y abundancia de rinocriptidos, se espera que existan impactos en su repertorio y actividad vocal. Para esto se desarrollaron dos estudios capítulos donde el primero abarca las predicciones de la AAH determinando que existen diferencias significativas en los valores de frecuencia de las especies estudiadas (*Scelorchilus rubecula*, *Pterotochos castaneus*, *Eugralla paradoxa*, *Scytalopus magellanicus* y *Scytalopus fuscus*). Sin embargo, al relacionar estas diferencias con los factores ambientales estudiados, obtuvimos un apoyo parcial a la hipótesis para *S. rubecula* y *P. castaneus* y para las otras especies sobre las variaciones obtenidas estas no se deben necesariamente a un factor puramente ambiental. El segundo capítulo tiene como objetivo caracterizar el repertorio y el rango de actividad vocal de estas especies y compararlos en ambientes contrastantes. Se identificaron seis vocalizaciones para *S. rubecula*, cuatro para *E. paradoxa*, una para *S. magellanicus* y *S. fuscus* y tres para *P. castaneus*, incluyendo variaciones estructurales en las vocalizaciones de llamada de *S. rubecula* y *E. paradoxa*. Para todas las especies, se presentaron los rangos totales y picos por horario de la actividad vocal, determinando variaciones horarias y también en cantidad de vocalizaciones de los repertorios entre los ambientes estudiados. La información que arroja este estudio es de relevancia para la historia natural de las especies de rinocriptidos chilenos y junto a la consideración de otros factores, además del ambiente, sería de vital importancia para poder resolver las incógnitas relacionadas a estas especies que son poco estudiadas.

Palabras claves: AAH, Adaptación, Actividad vocal, Estructura del hábitat, Historia Natural, Índice de área foliar, Passeriformes, Rinocriptidos, Suboscinos.

Abstract

The acoustic adaptation hypothesis (AAH) states that the acoustic properties of animal species are affected by habitat structure. To test this hypothesis, birds of the family Rhinocryptidae present in Chile were selected because they are characterized by being specialists of forest environments and are catalogued as bio-indicator species of the degree of naturalness of the forest. Considering that habitat loss and fragmentation have negative effects on the richness and abundance of rhinocryptids, it is expected that there will be impacts on their repertoire and vocal activity. For this, two chapters were developed where the first one covers the predictions of the AAH determining that there are significant differences in the frequency values of the species studied (*Scelorchilus rubecula*, *Pterotochos castaneus*, *Eugralla paradoxa*, *Scytalopus magellanicus* and *Scytalopus fuscus*). However, when relating these differences with the environmental factors studied, we obtained partial support for the hypothesis for two species (*S. rubecula* and *P. castaneus*) and for the other species the variations obtained are not necessarily due to a purely environmental factor. A second descriptive chapter aimed at characterizing the repertoire and range of vocal activity of these species and comparing them in contrasting environments identified six vocalizations for *S. rubecula*, four for *E. paradoxa*, one each for *S. magellanicus* and *S. fuscus* and three for *P. castaneus*. Structural variations were identified in the call vocalizations of *S. rubecula* and *E. paradoxa*. For all species, the total ranges and peaks per schedule of vocal activity were presented, determining variations in time and also in the number of vocalizations of the repertoires among the studied environments. The information provided by this study is of relevance for the natural history of Chilean rhinocryptid species and, together with the consideration of other factors besides the environment, it would be of vital importance to solve the unknowns related to these species that are little studied.

Key words: Adaptation, Rhinocryptids, Habitat structure, AAH, hemispheric photography, Leaf area index, Natural history, Vocal activity, Suboscines, Passeriformes.

Capítulo I: Efecto de la estructura del hábitat en las vocalizaciones de cinco especies de la familia Rhinocryptidae

Introducción

En general, las aves utilizan el canal acústico y visual para comunicarse, ya que presentan poco desempeño a nivel de su sistema olfativo, favoreciendo así la selección sexual mediante el color del plumaje y sus vocalizaciones (Catchpole & Slater 2003). En ciertos casos, las señales visuales también se ven en desventaja frente a las señales acústicas, debido a los cambios lumínicos en el ambiente generando que la observación entre ellas sea complicada (Catchpole & Slater 2003). De esta forma, la utilización de las señales acústicas cumple un rol importante a nivel de reconocimiento, cortejo y defensa territorial en las aves (Gómez 2016).

La estructura del hábitat en el que se encuentran las aves es relevante para la comunicación de este grupo de animales (Laiolo & Arroyo-Solís 2011). En relación a esto, se ha determinado que los rasgos acústicos de las vocalizaciones pueden cambiar por interacción con factores tales como: (1) competencia del espacio sonoro (espacio acústico compartido por todos los animales de una comunidad) (Hart et al. 2015), en la cual vocalizaciones de diferentes especies o individuos pueden solaparse y producir interferencias en la información, generando un enmascaramiento de la señal (Brumm & Slabbekoorn 2005); (2) el ruido de fondo constante generado por la urbanización (Patricelli & Blickley 2006; Slabbekoorn & den Boer-Visser

2006); (3) el tipo de vegetación (Ripmeester et al. 2010; Dingle et al. 2008), e (4) interacciones de más de un factor (Kirschel et al. 2009).

Estas interacciones con el ambiente y las diferencias que pueden observarse en las vocalizaciones se han intentado explicar a través de la hipótesis de adaptación acústica (en sus siglas en inglés AAH), propuesta por Morton en 1975, la cual plantea que las propiedades acústicas de las especies de animales se ven afectadas por las estructuras del hábitat (Ey & Fischer 2009; Morton 1975). Las predicciones relacionadas a esta hipótesis, dependen del efecto de la vegetación sobre las vocalizaciones (Ey & Fischer 2009), planteándose que (1) en zonas boscosas y densas, las señales deben presentar frecuencias bajas, rango de frecuencia estrecho y duración extendida, ya que con estas características se ven menos atenuadas o distorsionadas, favoreciendo así la comunicación a larga distancia (Mullet et al. 2017; Slabbekoorn & Smith 2002), y (2) en espacios abiertos, deben seleccionarse señales cortas y con frecuencias moduladas (Richards & Wiley 1980; Marten & Marler 1977).

La estructura del hábitat es dinámica, sin embargo, puede acelerarse el cambio debido al efecto de la fragmentación del hábitat por efecto antrópico, la cual consiste en una disminución del hábitat que da como resultado la división de hábitats grandes y continuos en remanentes más pequeños y aislados (Smith et al. 2011, Mortelliti et al. 2010, Didham 2010). Algunos efectos de la fragmentación del hábitat radican en la alteración de la

diversidad, estructura genética (Belasen et al. 2019; Rivera-Ortíz et al. 2015; Mortelliti et al. 2010) y disminución de las abundancias de las especies en hábitats perturbados (Haddad et al. 2015). Además, ocurre una disminución de la cobertura del dosel debido a la desecación, en donde una mayor fragmentación conlleva un aumento de esta pérdida de cobertura (Briant et al. 2010), y disminución del sotobosque, lo que genera una pérdida de abundancia de especies especialistas de esta fracción del hábitat (Brunet et al. 2011).

A pesar de que la mayor parte de los estudios mencionan disminución de abundancia, riqueza y diversidad genética (ej. Belasen et al. 2019; Rivera-Ortíz et al. 2015; Haddad et al. 2015; Mortelliti et al. 2010), existen muy pocos en los cuales se menciona el efecto de la perturbación o modificación en la estructura y composición del hábitat en las vocalizaciones. En este sentido, se han determinado diferenciación de las vocalizaciones entre parches de hábitat, en algunos casos micro – dialectos entre poblaciones cercanas (Pérez-Granados et al. 2016; Laiolo & Tella 2005). También..., diferenciación de vocalizaciones entre individuos en aves suboscinas (Norambuena & Victoriano 2020; Foote et al. 2013; Seddon & Tobias 2010) y variación geográfica de estas vocalizaciones individuales útiles para el reconocimiento entre congéneres (Sedgwick 2001). Estos antecedentes sustentan la existencia de variaciones en las vocalizaciones debido al cambio en la estructura del hábitat (Pérez-Granados et al. 2016).

Considerando la importante interacción del ambiente con las vocalizaciones, es que se evaluó la AAH, utilizando como modelo de estudio a las aves de la familia Rhinocryptidae (rinocriptidos), debido a que se caracterizan por ser especialistas de ambientes boscosos tupidos y zonas arbustivas, presentar un alto endemismo y baja capacidad de vuelo (Correa et al. 2014; Soto-Mora & Urrutia 2010; Rueda & Mpodozis 2008; Ericson et al. 2003). Además, este grupo de aves son catalogadas como especies bioindicadoras del grado de naturalidad del bosque y de ambientes prístinos por su estrecha relación con su ambiente (Sarasola et al. 1999), por lo que la pérdida de hábitat podría presentar un efecto importante en sus poblaciones y vocalizaciones.

Los rinocriptidos son Passeriformes que integran 12 géneros con 60 especies endémico del continente americano (Clements et al. 2019). En Chile se observan cuatro géneros con ocho especies (del Hoyo et al. 2003), de las cuales cinco fueron evaluadas en este estudio:

(1) Chucao (*Scelorchilus rubecula*), ave con un tamaño entre 18 a 19 centímetros (Jaramillo et al. 2014; Altamirano et al. 2012), considerada como una especie que evita espacios abiertos y que la mayor parte de los fragmentos de sus hábitats presentan un grado de desconexión entre sí, sin embargo, se ha registrado que pueden usar corredores si cuentan con una cobertura apta (Sieving et al. 1996, 2000, Willson 2004);

(2) Churrín de la Mocha (*Eugralla paradoxa*), con un tamaño entre 14 y 16 cm (Jaramillo et al. 2014), presenta poca capacidad de movimiento entre fragmentos (Díaz et al. 2005, Vergara & Simonetti 2004), por lo que ha sido afectada de forma importante por la fragmentación de su hábitat, produciendo una disminución de su abundancia (Vergara et al. 2014);

(3) Churrín del sur (*Scytalopus magellanicus*), ave con un tamaño de 10 a 12 cm (Jaramillo et al. 2015; Altamirano et al. 2012), habita en bosques, pero también matorrales en algunas quebradas rodeadas de terrenos cultivados. Además, la especie utiliza la estepa altoandina en sitios rocosos y usualmente asociados a cuerpos de agua (Medrano et al. 2018);

(4) Churrín del norte (*Scytalopus fuscus*), con un tamaño de 12 cm (Jaramillo et al. 2014), donde se sospecha de una disminución de las poblaciones producto de la destrucción del hábitat (del Hoyo et al. 2003); (5) Hued hued castaño (*Pteroptochos castaneus*), con un tamaño entre 22 y 25 cm (Jaramillo et al. 2014). Su hábitat se caracteriza principalmente por la presencia de bosques dominados por *Nothofagus* que están asociados a un denso sotobosque y ha sido categorizada como la especie que posee el rango de distribución más pequeño (Medrano et al. 2018) en comparación con las otras especies de la familia (Martínez-Piña et al. 2017).

Para las especies mencionadas, se ha determinado por efecto de la pérdida y destrucción de su hábitat (Carvajal León 2017; Vergara et al. 2014; Lantschner

& Rusch 2007; del Hoyo et al. 2003), sin embargo, no existen muchos estudios que mencionan los posibles efectos de estos procesos en las vocalizaciones de estas especies (Ej: Melo & Vega 2020; Norambuena & Victoriano 2020). Por otra parte, se han descrito variaciones adaptativas a las nuevas condiciones impuestas por el cambio en el hábitat (Bradbury & Vehrencamp 1998) y efectos negativos en la producción de coros. Esto último, afecta de forma directa las interacciones entre los individuos de una especie, teniendo consecuencias a nivel reproductivo (Laiolo et al. 2008; Laiolo et al. 2011). Aun con esta información, no se conoce a cabalidad la relación de las vocalizaciones de estas especies con su hábitat. Recientemente, Norambuena & Victoriano (2020) plantean la existencia de diferencia en las vocalizaciones a nivel individual de *S. rubecula*, donde mencionan que poner a prueba la AAH permitiría precisar los procesos que generan esta variación individual.

Si se considera 1) la presencia de variaciones en las vocalizaciones de las aves debido a la interacción con el hábitat, 2) los escasos estudios que evalúen las causas de las variaciones de las vocalizaciones y 3) la importancia de la pérdida y cambio del hábitat de bosques nativos a la que están sometidas las especies de la familia Rhynocriptidae, es que se plantean las siguientes preguntas ¿Cómo afecta el cambio de la estructura del hábitat a las vocalizaciones de las especies de la familia Rhynocriptidae? ¿Todas las especies se ven afectadas en igual medida? ¿Existen variaciones en las

frecuencias mínimas en ambientes contrastantes? De acuerdo con estas interrogantes se plantea la siguiente hipótesis: La estructura del hábitat en donde se encuentran las aves influye en la estructura y valores de frecuencia de las vocalizaciones, prediciendo que en ambientes abiertos (menor cobertura del dosel) presentaran valores de frecuencia mínima mayor y tiempo total de la vocalización menor.

El objetivo general de esta investigación es evaluar el efecto de la estructura del hábitat en las vocalizaciones de especies de la familia Rhinocryptidae, mediante el uso de un monitoreo acústico pasivo. Con esto se espera 1) determinar los valores de frecuencia (máxima, mínima, tiempo, frecuencia de máxima amplitud) de las vocalizaciones de cada especie, 2) determinar los valores de las variables estructurales del canto (número de notas, tiempo total de la vocalización), 3) evaluar la actividad vocal de cada especie, 4) comparar los valores de frecuencia y actividad vocal entre las especies, 5) estimar los índices de vegetación y 6) cobertura vegetal en los diferentes hábitats y 7) evaluar el efecto de la cobertura vegetal en las frecuencias de las cinco especies de aves estudiadas.

Materiales y Métodos

1.- Sitio de estudio

El estudio fue realizado en la región del Bio-Bio, Chile, específicamente en Fundos la Cantera y el Guindo que abarcan una superficie de 91 ha, ubicados al sureste de la Universidad de Concepción ($36^{\circ}50'40.83''S$ / $73^{\circ} 1'33.50''O$). El área de muestreo, rodeada por la urbe del gran Concepción, se caracteriza por la presencia del bosque esclerófilo particular de la zona central (Toro et al. 2017), con una amplia zona boscosa con presencia de flora nativa, como también plantaciones forestales y zonas de quebradas. La expansión de las plantaciones forestales y la actividad antrópica propia de la zona urbana ha conllevado fragmentación y pérdida de hábitat para la flora y fauna nativa del lugar (Toro et al. 2017; Zevallos & Matthei 1994). En base a esto, y con el fin de monitorear la actividad vocal de las especies de aves considerando ambientes contrastantes, el área se diferenció en: bosque nativo, quebradas y plantaciones forestales (Fig. 1), estableciendo 3 puntos de monitoreo por zona con una separación promedio de 200 metros, excepto para las plantaciones forestales, donde hubo dos puntos de monitoreo.

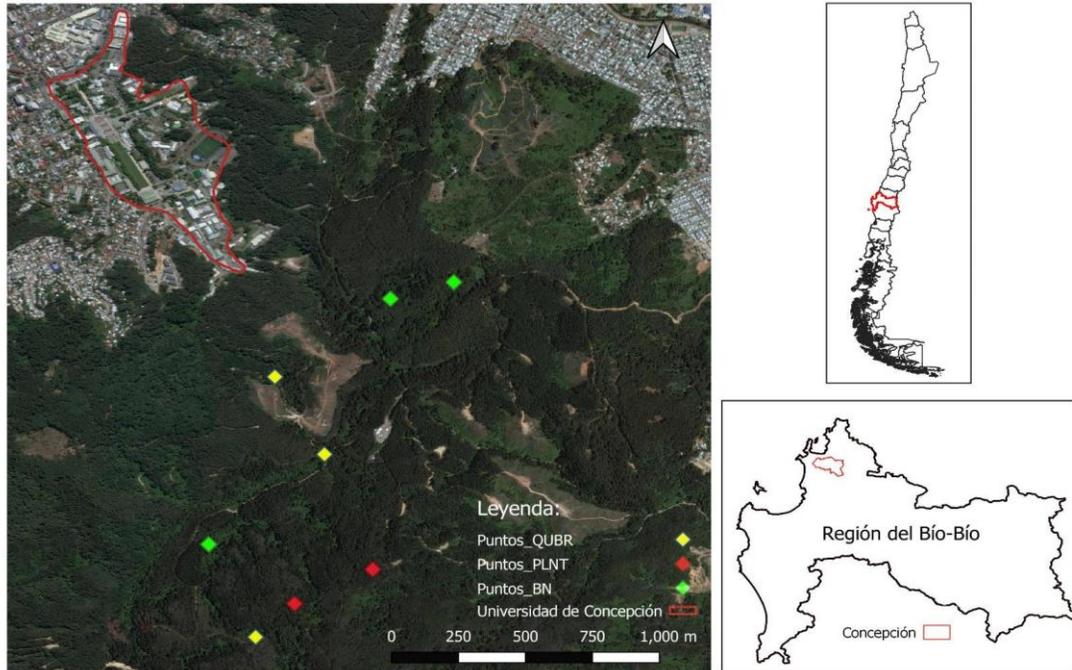


Fig. 1: Mapa de la ubicación de los puntos de muestreo del estudio emplazados en Concepción, Región del Bio-Bío, Chile. Puntos emplazados en la Quebrada (“Puntos_QUBR”; rombo amarillo), Puntos emplazados en la Plantación (“Puntos_PLNT”; rombo rojo) y Puntos emplazados en el Bosque (“Puntos_BN”; rombo verde).

2.- Monitoreo acústico pasivo

Para evaluar el efecto de la estructura del hábitat en las vocalizaciones de especies de la familia Rhinocryptidae se utilizó un monitoreo acústico pasivo, metodología de trabajo eficiente y no invasiva para estudiar poblaciones y comunidades de fauna silvestre (Gibb et al. 2019). Para el caso específico de aves de la familia Rhinocryptidae, resulta útil debido a dificultad de observar a este grupo de aves (Martínez-Piña et al. 2017). Para el monitoreo acústico se

consideró la obtención de las grabaciones, la elaboración de la base de datos y la obtención de los valores de las variables del estudio.

2.1.- Obtención de grabaciones

Dentro del área de estudio se instalaron 8 equipos (3 en Bosque, 2 en Plantación y 3 en Quebrada) de registro pasivos de audio Audiomoth (Hill et al. 2019; Hill et al. 2018). Los Audiomoth fueron programados para realizar grabaciones de 1 min de duración con 14 min de descanso durante las 24 horas del día y por todo el año 2020, utilizando una frecuencia de muestreo (sample rate en kHz) de 192. Para el presente estudio fueron utilizadas las grabaciones obtenidas durante la época reproductiva de las especies (septiembre a enero), ya que es la que presenta mayor actividad vocal debido al cortejo (Pyle et al. 2015).

2.2.- Elaboración de la base de datos acústica e identificación semiautomatizada

Para el proceso de identificación semiautomatizada de las vocalizaciones se utilizó el software Kaleidoscope (Wildlife Acoustics Co), para esto se realizó un proceso previo de identificación de los reconocedores específicos programando los parámetros de detección de señales (*Signal detection parameters*) en valores de frecuencia (Hz) de 250 a 7000 (min. y máx., respectivamente), en señales entre 0,1 y 7,5 segundos (s) y un espacio entre sílabas de 2 s, considerando los parámetros vocales de las aves y de las

especies del estudio. Este proceso de reconocimiento previo entregó una base de datos de las vocalizaciones que debe detectar (reconocedores específicos). Posteriormente se analizaron las grabaciones mediante la metodología de trabajo semiautomatizada planteada por Ross et al. (2018).

Para la elaboración de la base de datos acústica de los reconocedores específicos de vocalizaciones para cada una de las especies estudiadas, se utilizó como base las vocalizaciones territoriales, de contacto y alarmas obtenidas de la base de datos de ciencia ciudadana xeno-canto (<https://www.xeno-canto.org/>). Las vocalizaciones obtenidas fueron posteriormente editadas con el software Audacity (Audacity® software 1999-2019), aplicándose un filtro de banda para eliminar el sonido fuera de la gama de frecuencias de las vocalizaciones de las especies. Este método aísla las vocalizaciones específicas y reduce la inclusión de falsos positivos. Luego se realizó el escaneo de la presencia de estas vocalizaciones con el software Kaleidoscope (Wildlife Acoustics Co). De este proceso se obtuvieron las vocalizaciones para cada una de las especies estudiadas, correspondientes a: *S. rubecula* - 5 vocalizaciones correspondientes al canto común (V_CHU), con ocho vocalizaciones de contacto (C1-C8_CHU); *E. paradoxa* - cuatro vocalizaciones correspondientes al canto común (V_CM) con cuatro vocalizaciones de contacto (C1-C4_CM); *S. fuscus* - dos vocalizaciones correspondientes al canto común (V_CN) con tres vocalizaciones de contacto (C1-C3_CN); *S. magellanicus* - dos vocalizaciones correspondientes al canto

común (V_CS) y seis vocalizaciones de contacto (C1-C6_CS); *P. castaneus* - dos vocalizaciones correspondientes al canto común (V_HH) con cuatro vocalizaciones de contacto (C1-C4_HH).

2.2.2.- Obtención de variables de frecuencia

Luego de obtener las vocalizaciones de respuesta se realizó un análisis a escala más fina con el programa Raven Pro 1.4 (Bioacoustics Research Program 2011), usando los parámetros del espectrograma (Window-Type: Hann, tamaño: 512 muestras =11,6ms), 3dB filtro ancho de banda: 256 Hz; superposición cuadrícula de tiempo: 50 %, tamaño de salto: 128 muestras (=5,80 ms); frecuencia cuadrícula –DFT: 512 muestras, espaciado cuadrícula: 86.1 Hz. De cada vocalización se obtuvieron los valores de (1) Frecuencia Máxima (F. máx.) y (2) Mínima (F. min.) en Hz, (3) Frecuencia de máxima amplitud (FMA) en Hz y (5) tiempo total de la vocalización (TTV) en seg.

3.- Cobertura del dosel / índice de área foliar (IAF) y estructura del hábitat

La complejidad del hábitat se determinó mediante la estimación de la cobertura del dosel, índice foliar y estructura del hábitat. La estimación de la cobertura de dosel en los tres tipos de hábitats (Plantación Forestal, Bosque Nativo y Quebradas) se realizó mediante la utilización de fotografías hemisféricas (Promis & Cruz 2009).

Para esto tomaron cuatro fotografías en cada punto de muestreo, separadas por 2 a 4 m unas de otras, con la utilización de un lente ojo de pez, el cual posee un campo de visión de 180°. Con este método se obtienen fotografías capaces de registrar posición, tamaño y forma de las aberturas o claros que existen en el dosel arbóreo, además de una estimación del índice de área foliar mediante la utilización del software *Gap Light Analyzer* (Frazer et al. 1999). Obteniendo así una totalidad de 12 fotografías para la Plantación (ANEXO: Fig. 8) y 16 para el Bosque (ANEXO: Fig. 9) y la Quebrada (ANEXO Fig. 10).

De los datos de la fotografía de determino como resultado la “Apertura del Dosel” en adelante **CO%** donde al restar la diferencia con el 100% se obtuvo los valores de “Cobertura del dosel” en adelante **CC%** que fueron utilizados.

Para determinar la estructura del hábitat, en primera instancia se determinaron los índices de vegetación normalizada (NDVI) y el índice de vegetación resistente a la atmosfera (ARVI) calculables en el software QGIS 3.16.2 (QGIS.org, 2021). Sin embargo, no se obtuvieron diferencias significativas entre los hábitats debido a que el área que se estaba evaluando era pequeña y podría estar sub o sobrestimando los resultados, por esto se decidió hacer un estudio de estructura *in situ* mediante la utilización de cuadrantes.

En cada punto del muestreo se trazaron tres cuadrantes de 5 x 5 metros y se contabilizó y registró la totalidad de las especies vegetales dentro del cuadrante separándolos por la altura que estas presentaban designado de tres rangos: 1: Especies de tamaño menor o igual a 20 cm, 2: Especies de tamaño

menor o igual a 80 cm y 3: Especies de tamaño mayor a 80 cm. De los cuadrantes se obtuvieron valores totales de riqueza de especies de los diferentes hábitats del estudio, como también valores en porcentaje de cada estrato altitudinal considerado (≥ 20 cm, ≥ 80 cm y < 80 cm).

4.- Análisis de la información

Previo al análisis de los datos se realizó la prueba de Shapiro–Wilk para evaluar los supuestos de la normalidad. Este análisis evidenció que los datos no poseían una distribución normal ($p < 0,05$), por lo que se utilizaron pruebas no paramétricas para analizar los datos.

En primer lugar, se realizó un análisis exploratorio (n-MDS) utilizando el software JMP16 (SAS) con el fin de determinar posibles agrupaciones de datos dentro del mismo tipo de hábitat previamente definido. Los valores atípicos fueron eliminados (65 datos en Bosque, 22 datos en Plantación y 58 datos en Quebrada). Luego de esto, se realizó nuevamente el análisis (n-MDS), el cual no mostró formación de agrupaciones dentro de cada zona de estudio.

Se utilizó la prueba de Kruskal-Wallis para determinar la existencia de diferencias estadísticamente significativas entre las variables medidas para cada tratamiento. Para esto se utilizó el software R (R core. 2013) y R studio 1.4.1 (RStudio Team 2015), y los paquetes devtools y ggpubr para la obtención de gráficos boxplot y el comando `kruskal.test` para la realización de la prueba de Kruskal-Wallis. Luego para comparar entre los tratamientos se realizó la

prueba de Wilcoxon en el software R, utilizando el comando `pairwise.wilcox.test`.

Para los análisis comparativos entre las variables ambientales (Cobertura del dosel – IAF) y las variables vocales de las especies, se realizó un ajuste de modelos lineales generalizados. Para determinar el modelo que mejor se ajustaba a los datos, en primera instancia, fueron comparados las estructuras de errores Normal con la estructura de Poisson, distribuciones catalogadas como correctas para variables de conteo (Cayuela 2009). Luego se comprobaron los valores del criterio de información de AIC mediante la utilización del software JMP16 (SAS) y se determinó que el modelo lineal generalizado a utilizar en el estudio correspondía a una estructura de errores normales con función del vínculo de identidad.

Resultados

Se obtuvo un total de 2526 registros vocales para *E. paradoxa*, 2194 para *S. rubecula*, 967 para *P. castaneus*, 145 para *S. fuscus* y 14 para *S. magellanicus* (Tabla 1).

Tabla 1: Número de grabaciones obtenidas para las especies del estudio; *S. rubecula*, *E. paradoxa*, *S. magellanicus*, *S. fuscus* y *P. castaneus* en cada tipo de hábitat. Se muestran las vocalizaciones de llamada común (Voc) y las vocalizaciones de contacto ("C_X"; x= numero).

I.- <i>Scelorchilus rubecula</i>			
Grabación	Bosque	Plantación	Quebrada
Voc	754	418	679
C_1	9	0	33
C_2	2	0	9
C_3	3	0	0
C_4	31	0	66
C_5	17	11	13
C_6	63	24	62
Total	879	453	862
II.- <i>Eugralla paradoxa</i>			
Voc	389	46	438
C_3	509	168	424
C_4	274	0	278
Total	1172	214	1140
III.- <i>Scytalopus magellanicus</i>			
Voc	0	0	0
C_1	8	0	6
Total	8	0	6
IV.- <i>Scytalopus fuscus</i>			
Voc	35	34	71
C_1	5	0	0
Total	40	34	71
V.- <i>Pterotochos castaneus</i>			
Voc	30	19	13
C_2	459	75	113
C_1	126	61	71
Total	615	155	197

1. - Descripción y análisis de los cantos

1.1.- *Scelorchilus rubecula* (Chucao)

Para *S. rubecula* se registraron siete vocalizaciones, de las cuales una corresponde a la vocalización de llamada propiamente tal junto a seis vocalizaciones de contacto (Fig. 2). De la totalidad de las vocalizaciones obtenidas se registraron tres vocalizaciones, vocalización de llamada y dos contactos (C4 y C6), utilizadas en los tres hábitats del estudio (Tabla 2). La vocalización de llamada común registro en promedio una frecuencia máxima de $1848,912 \pm 252,46$ y mínima de $661,14 \pm 174,28$ para el bosque, una frecuencia máxima de $1807,011 \pm 180,05$ y mínima de $825,68 \pm 217,27$ para la plantación y una frecuencia máxima de $1791,889 \pm 162,28$ y mínima de $713,9 \pm 203,94$ para la quebrada.

Tabla 2: Resumen de los valores promedios de las vocalizaciones de *S. rubecula* registradas (Vocalización de llamada “V_CHU” y vocalizaciones de contacto “C4_CHU / C6_CHU”) en los tres tipos de hábitat del estudio Bosque (B), Plantación (P) y Quebrada (Q). Frecuencia Máxima (F. máx). Frecuencia mínima (F. min). Frecuencia de Máxima Amplitud (FMA). Tiempo total de la Vocalización (TTV).

I.- V_CHU				
Tipo de hábitat	F.max (Hz)	F.min (Hz)	FMA (Hz)	TTV (s)
B	1848,91	661,17	1437,51	25,33
P	1807,01	825,68	1446,51	13,35
Q	1791,88	713,9	1439,04	0,74
II.- C4_CHU				
B	1832,4	816,39	1374,5	0,14
P	2023,35	1139,19	1636,91	0,085
Q	2564,4	778,52	1408,54	0,106
III.- C6_CHU				
B	4544,75	710,71	2474,72	178,13

P	3339,44	845,47	2783,19	0,31
Q	3507,08	817,38	2483,62	0,26

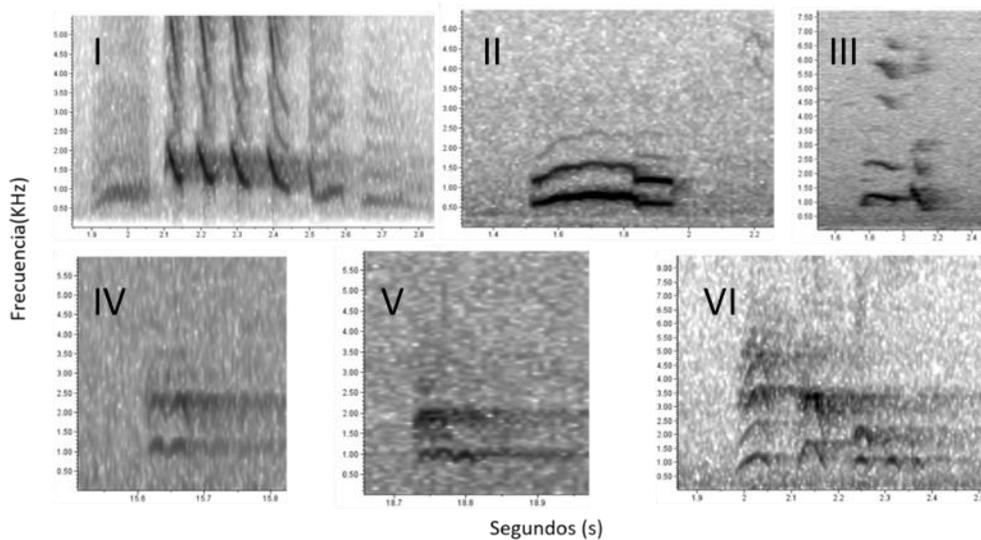


Fig. 2: Sonogramas de las vocalizaciones obtenidas para *S. rubecula*. (I) Vocalización de llamada común “V_CHU”, (II) Vocalización de contacto “C2_CHU”, (III) Vocalización de contacto “C3_CHU”, (IV) Vocalización de contacto “C4_CHU”, (V) Vocalización de contacto “C5_CHU” y (VI) Vocalización de contacto “C6_CHU”

Se registraron diferencias estadísticamente significativas ($p < 0,05$) en las vocalizaciones entre los tres hábitats en la F. máx para “V_CHU” y “C6_CHU”, F. min para las tres vocalizaciones y el Tiempo total de la vocalización (TTV) para “V_CHU” y “C6_CHU” (Tabla 3).

Por otro lado, se obtuvo que la F. máx de la “V_CHU” en la Quebrada es estadísticamente menor a los demás hábitats (ANEXO: Fig. 4 A; $p: 0,02$). En la Plantación y la Quebrada, el TTV es estadísticamente menor que en el

Bosque (ANEXO: Fig. 4 C; $p < 0,01$). La Plantación presentó una mayor F.min comparada con los demás hábitats (ANEXO: Fig. 4 B; $p < 0,01$).

En el caso del “C4_CHU” se determinó que la F. min en la Plantación es estadísticamente mayor que los demás hábitats (ANEXO: Fig. 5; $p < 0,01$). Por último, el “C6_CHU” en el Bosque registró una mayor F. máx y en la Plantación se observó el menor valor (ANEXO: Fig. 6 A; $p < 0,01$). En relación a la F. min, el Bosque y la Plantación son estadísticamente menores que la Quebrada (ANEXO: Fig. 6 B; $p: 0,013$). Respecto al TTV, la Quebrada es estadísticamente menor a los otros hábitats (ANEXO: Fig. 6 C; $p: 0,011$).

Tabla 3: Tabla resumen de la prueba Kruskal-Wallis. Se muestra el valor del estadístico de la prueba, el valor (p), la significancia para el estudio para las tres vocalizaciones registradas, vocalización de llamada (I: V_CHU) y las vocalizaciones de contacto (II: C4_CHU y III: C6_CHU). Frecuencia Máxima (F.max), Frecuencia Mínima (F.min), Frecuencia de Máxima Amplitud (FMA) y el Tiempo Total de la Vocalización (TTV). Se muestran en negrita aquellas variables que poseen diferencias estadísticamente significativas.

I.- V_CHU			
Variables	Estadístico	Valor p	Significancia
F.max	68,573	0,03913	< 0,05
F.min	158,89	2,20E-16	< 0,05
FMA	49,195	0,06526	>0,05
TTV	106,05	2,20E-16	< 0,05
II.- C4_CHU			
F.max	3,726	0,1552	>0,05
F.min	25,544	2,84E-06	< 0,05
FMA	4,014	0,1344	>0,05
TTV	0,57291	0,7509	>0,05
III.- C6_CHU			
F.max	33,45	5,45E-08	<0,05
F.min	10,7	0,004	< 0,05

FMA	47,404	0,09346	>0,05
TTV	88,431	0,01202	<0,05

1.2.- *Eugralla paradoxa* (Churrín de la Mocha)

Para *E. paradoxa* se registraron tres tipos de vocalizaciones, una vocalización de llamada común (V_CM) y dos vocalizaciones de contacto (C3 y C4_CM) (Fig. 3). Solo dos vocalizaciones fueron encontradas en los tres tipos de hábitat evaluados (V_CM y C3_CM) y una estuvo presente en dos de los hábitats (C4_CM) (Tabla 4). La vocalización de llamada registró una frecuencia máxima de $3187,994 \pm 230,61$ y mínima de $2265,939 \pm 295,26$ en el Bosque, una frecuencia máxima de $3097,906 \pm 148,30$ y mínima de $2058,252 \pm 120,807$ en la Plantación y una frecuencia máxima de $3170,621 \pm 188,566$ y mínima de $2144,812 \pm 190,234$ en la Quebrada.

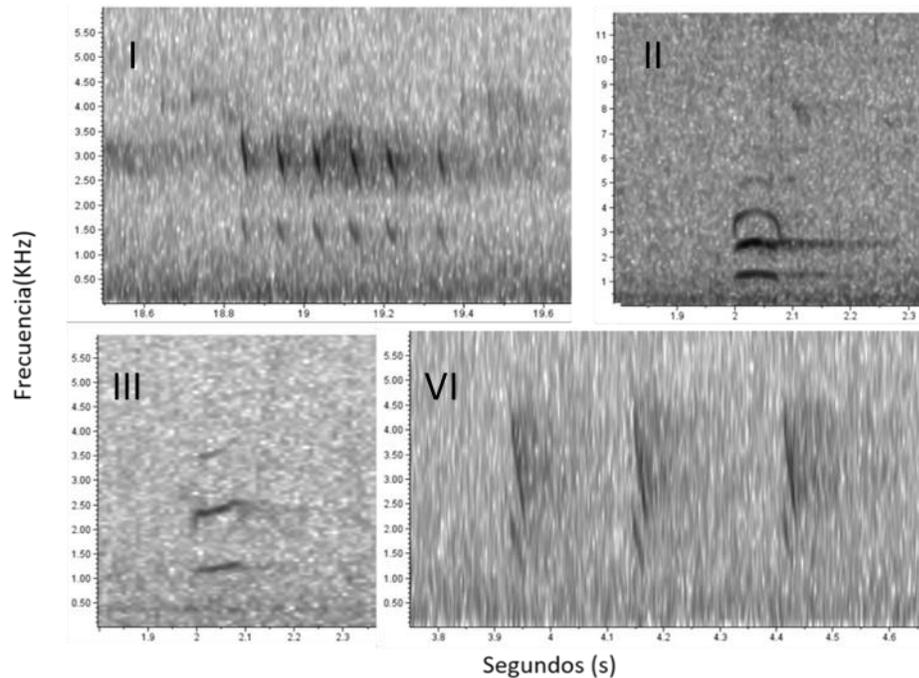


Fig. 3: Sonogramas de las vocalizaciones obtenidas para *E. paradoxa*. (I) Vocalización de llamada común “V_CM”, (II) Vocalización de contacto “C3_CM”, (III) Variación de la vocalización de contacto “C3_CM” y (IV) Vocalización de contacto “C4_CM”.

Los tres tipos de vocalizaciones registradas en los distintos tipos de hábitats evaluados en este estudio, poseen diferencias estadísticamente significativas (Tabla 5). En el caso de la vocalización de llamada “V_CM”, la Plantación presentó una menor F. máx y F.min respecto a los demás hábitats (ANEXO: Fig. 7 A, B; $p < 0,01$, respectivamente). La FMA fue mayor en el Bosque que en los demás hábitats (ANEXO: Fig. 7 C; $p < 0,01$) y el TTV fue menor en lo comparado con los demás hábitats (ANEXO: Fig. 7 C; $p < 0,01$).

Con respecto a la vocalización de contacto “C3_CM”, la F.max registrada en la Quebrada fue mayor que en los demás hábitats (ANEXO: Fig. 8 A; $p < 0,01$), mientras que la FMA fue menor en el Bosque, y no se observó diferencia entre Plantación y Quebrada (ANEXO: Fig. 8 B; $p < 0,01$). La F.min y el TTV fueron menores en la Plantación (ANEXO: Fig. 8 C, D; $p < 0,01$; $p: 0,018$, respectivamente). Por último, para el contacto “C4_CM”, la F.max fue mayor en la Quebrada que en el Bosque (ANEXO: Fig. 9 A; $p < 0,01$) y para la F.min, FMA y el TTV, el Bosque presentó los valores mayores que la Quebrada

Tabla 4: Resumen de los valores promedios de las vocalizaciones de *E. paradoxa* presentes (Vocalización de llamada común I: “V_CM” y vocalizaciones de contacto II: “C3_CM / III: C4_CM”) en los tres tipos de hábitat del estudio: Bosque (B), Plantación (P) y Quebrada (Q). Frecuencia Máxima (F. máx). Frecuencia mínima (F. min). Frecuencia de Máxima Amplitud (FMA). Tiempo total de la Vocalización (TTV). “///” ausencia de la vocalización en el hábitat de la plantación

I.- V_CM				
Tipo de hábitat	F.max (Hz)	F.min (Hz)	FMA (Hz)	TTV (s)
B	3187,99	2265,93	2745,02	14,53
P	3097,9	2058,25	2638,75	0,51
Q	3170,62	2144,81	2690,97	0,73
II.- C3_CM				
B	2470,33	1698,22	2193,18	0,094
P	2730,73	1,094,001	2358,81	0,084
Q	3043,63	1264,83	2258,06	0,091
III.- C4_CM				
B	3858,77	2369,93	3105,98	87,2
P	///	///	///	///
Q	4029,53	1929,33	3085,57	0,037

Tabla 5: Tabla resumen del test Kruskal-Wallis obteniendo el valor del estadístico, el valor (p), la significancia para el estudio para las tres vocalizaciones registradas, vocalización de llamada (I: V_CM) y las vocalizaciones de contacto (II: C3_CM y III: C4_CM). Frecuencia Máxima (F.max), Frecuencia Mínima (F.min), Frecuencia de Máxima Amplitud (FMA) y el Tiempo Total de la Vocalización (TTV). Resaltado en negrita aquellas variables que poseen diferencias estadísticamente significativas.

I.- V_CM			
Variables	Estadístico	Valor p	Significancia
F.max	18,269	0,0001	< 0,05
F.min	89,252	2,20E-16	< 0,05
FMA	41,43	1,01E-09	< 0,05
TTV	32,997	6,84E-08	< 0,05
II.- C3_CM			
Variables	Estadístico	Valor p	Significancia
F.max	183,91	2,20E-16	< 0,05
F.min	225,44	2,20E-16	< 0,05
FMA	15,054	0,00053	<0,05
TTV	9,6583	0,00799	< 0,05
III.- C4_CM			
Variables	Estadístico	Valor p	Significancia
F.max	60,989	5,74E-15	< 0,05
F.min	110,07	2,20E-16	< 0,05
FMA	8,1204	0,00437	<0,05
TTV	72,799	2,20E-16	< 0,05

1.3.- *Scytalopus magellanicus* (Churrín del Sur)

Para *S. magellanicus* se obtuvieron únicamente 8 grabaciones en Bosque y 6 en Quebrada, todas correspondieron a la vocalización de contacto (Fig. 4). Esta vocalización presentó un valor promedio de frecuencia máxima de $1085,763 \pm 89,91$ y mínima de $698,3 \pm 40,83$. Cabe señalar que es una vocalización de contacto difícil de detectar debido al poco tiempo y la tonalidad de la misma.

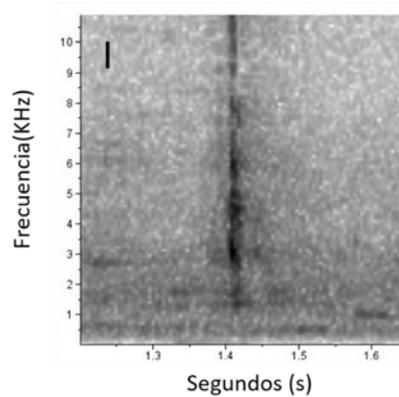


Fig. 4: Sonograma de la vocalización registrada para *S. magellanicus*. (I) Vocalización de contacto "C1_CS".

Debido al número reducido de grabaciones, no fue posible realizar los análisis comparativos entre los diferentes tipos de hábitats.

1.4.- *Scytalopus fuscus* (Churrín del Norte)

Para *S. fuscus* se registró solo la vocalización de llamada de la especie en los tres hábitats del estudio (Fig. 5). Esta vocalización presenta una frecuencia máxima de $3479,094 \pm 234,12$ y mínima de $2403,454 \pm 246,56$ en el Bosque, una frecuencia máxima de $3593,573 \pm 179,45$ y mínima de $2481,364 \pm 153,227$ en la Plantación y una frecuencia máxima de $3567,087 \pm 220,08$ y mínima de $2260,391 \pm 403,87$ en la Quebrada (Tabla 6).

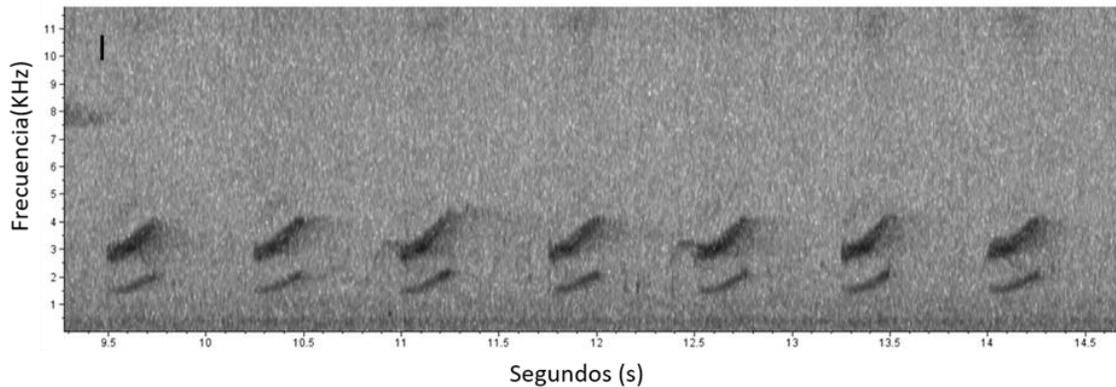


Fig. 5: Sonogramas de la vocalización obtenida para *S. fuscus*. (I) Vocalización de llamada común "V_CN".

La vocalización registrada no presentó diferencias estadísticamente significativas entre los tres tipos de hábitat del estudio (Tabla 7).

Tabla 6: Resumen de los valores promedio de la vocalización de llamada de *S. fuscus* (V_CN) presente en los tres tipos de hábitat del estudio: Bosque (B), Plantación (P) y Quebrada (Q). Frecuencia Máxima (F. máx). Frecuencia mínima (F. min). Frecuencia de Máxima Amplitud (FMA). Tiempo total de la Vocalización (TTV)

V_CN				
Tipo de hábitat	F.max (Hz)	F.min (Hz)	FMA (Hz)	TTV (s)
B	3,479,094	2,403,454	3,013,394	79,478
P	3,593,573	2,481,364	3,133,038	7,933
Q	3,567,087	2,260,391	3,052,816	151,732

Tabla 7: Tabla resumen del test Kruskal-Wallis obteniendo el valor del estadístico, el valor (p), la significancia para el estudio para la vocalización registrada, vocalización de llamada (V_CN). Frecuencia Máxima (F.max), Frecuencia Mínima (F.min), Frecuencia de Máxima Amplitud (FMA) y el Tiempo Total de la Vocalización (TTV)

V_CN			
Variables	Estadístico	Valor p	Significancia
F.max	35,261	0,1715	> 0,05
F.min	24,803	0,2893	> 0,05
FMA	45,016	0,1053	> 0,05
TTV	0,14317	0,9309	> 0,05

1.5.- *Pterotochos castaneus* (Hued Hued):

Para *P. castaneus* se registraron tres vocalizaciones, vocalización de llamada (V_HH) y dos vocalizaciones de contacto (C1 y C2_HH) (Fig. 6) en los tres tipos de hábitats (Tabla 8). La vocalización de llamada registró una frecuencia máxima de $690,683 \pm 82,055$ y una mínima de $377,4 \pm 74,616$ en Bosque, una frecuencia máxima de $731,452 \pm 104,187$ y mínima de $393,768 \pm 97,726$ en Plantación y una frecuencia máxima de $702,576 \pm 80,896$ y mínima de $363,338 \pm 60,942$ en Quebrada.

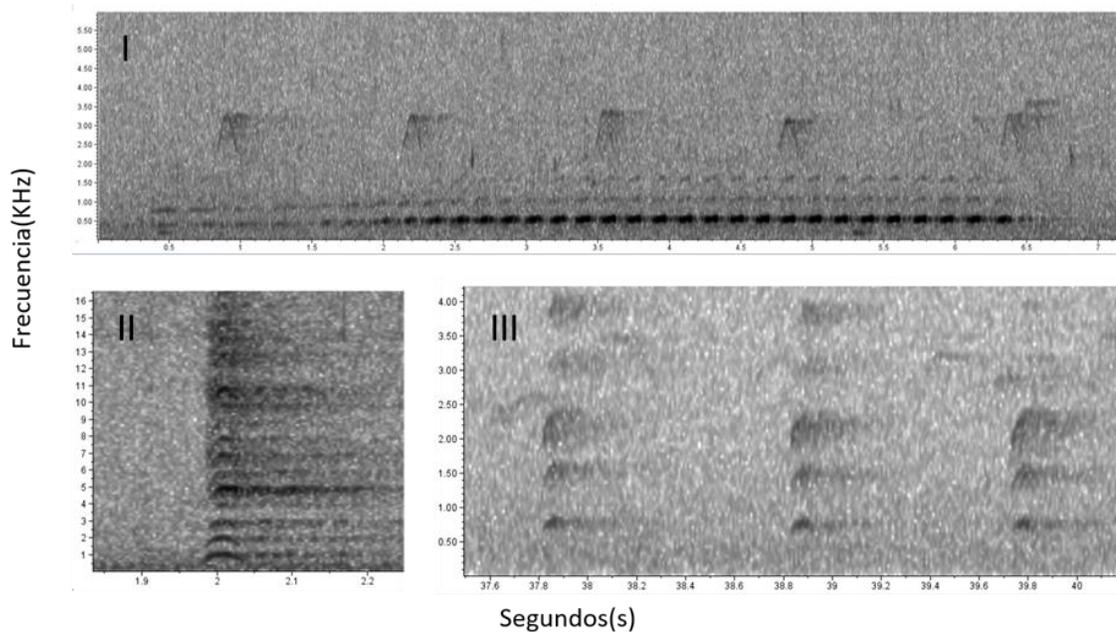


Fig. 6: Sonogramas de las vocalizaciones obtenidas para *P. castaneus*. (I) Vocalización de llamada común "V_HH", (II) Vocalización de contacto "C2_HH" y (III) Variación de la vocalización de contacto "C1_HH".

Se registraron diferencias estadísticamente significativas (Tabla 9) en las dos vocalizaciones de contactos presentes (C1_HH y C2_HH). Para el "C1_HH", la Plantación presentó una mayor F.max comparado con los otros hábitats (ANEXO: Fig. 10 A; $p < 0,01$). En relación a la FMA, la Quebrada presentó los menores valores respecto a los demás hábitats (ANEXO: Fig. 10 B; $p < 0,01$). El TTV fue menor en la Plantación comparado con los otros hábitats (ANEXO: Fig. 10 C; $p < 0,01$). Por último, para el "C2_HH", la F.max es mayor en Bosque y menor en la Plantación en comparación con la Quebrada (ANEXO: Fig. 11 A; $p < 0,01$). La F.min fue menor en la Plantación que en los demás hábitats (ANEXO: Fig. 11 B; $p < 0,01$) y el TTV fue menor en la Plantación que en los demás hábitats (ANEXO: Fig. 11 C; $p < 0,01$).

Tabla 8: Resumen de los valores promedios de las vocalizaciones (Vocalización de llamada I: V_HH; Vocalizaciones de contacto II: C1_HH y III.- C2_HH) de *P. castaneus* en los tres tipos de hábitat del estudio: Bosque (B), Plantación (P) y Quebrada (Q). Frecuencia Máxima (F. máx). Frecuencia mínima (F. min). Frecuencia de Máxima Amplitud (FMA). Tiempo total de la Vocalización (TTV)

I.- V_HH				
Tipo de hábitat	F.max (Hz)	F.min (Hz)	FMA (Hz)	TTV (s)
B	690,68	377,4	575,77	4,28
P	731,45	393,76	572,98	3,74
Q	702,57	363,33	566,1	4,46
II.- C1_HH				
B	943,31	553,8	754,46	0,101
P	970,12	534,36	744,86	0,09
Q	900,94	552,72	713,016	0,085
III.- C2_HH				
B	2675,4	712,62	1388,39	0,044
P	2245,21	581,02	982,79	0,037
Q	2489,01	649,24	1176,22	0,043

Tabla 9: Tabla resumen del test Kruskal-Wallis obteniendo el valor del estadístico, el valor (p), la significancia para el estudio para las dos vocalizaciones registradas, vocalizaciones de contacto (I: C1_HH y II: C2_HH). Frecuencia Máxima (F.max), Frecuencia Mínima (F.min), Frecuencia de Máxima Amplitud (FMA) y el Tiempo Total de la Vocalización (TTV). Resaltado en negrita aquellas variables que poseen diferencias estadísticamente significativas.

I.- C1_HH			
Variables	Estadístico	Valor p	Significancia
F.max	63,035	2,05E-14	< 0,05
F.min	1,398	0,4971	> 0,05
FMA	16,499	0,0002613	< 0,05
TTV	27,304	1,18E-06	< 0,05
II.- C2_HH			
Variables	Estadístico	Valor p	Significancia
F.max	149,37	2,20E-16	< 0,05
F.min	24,083	5,89E-06	< 0,05
FMA	130,67	2,20E-16	< 0,05
TTV	39,861	0,1363	> 0,05

2.- Ambiente y relación con las vocalizaciones

2.1- Descripción de los hábitats

Los puntos emplazados en Bosque se caracterizan por presentar una densidad vegetal alta (Cobertura vegetal 90% e IAF de 4) y una riqueza de especies que consideran los diferentes estratos altitudinales y de crecimiento de las plantas, incluyendo herbáceas, arbustos y organismos con crecimiento secundario (árboles) mayor que los demás hábitats. Para el caso de la Plantación, los puntos estaban emplazados en lugares donde la vegetación era más homogénea con presencia de *Pinus radiata* y *Eucalyptus* spp. Por último, los puntos emplazados en Quebradas se caracterizan por presentar más

variaciones de vegetación entre puntos en relación a la riqueza, composición y densidad población.

2.1.2- Bosque

Para el Bosque la categoría de las especies ≥ 20 cm fue la más representativa, seguida por < 80 cm y por último las especies correspondientes al rango de ≥ 80 cm. Este hábitat presentó la mayor riqueza de especies, con una totalidad de siete especies correspondientes a *Adiantum chilense*, *Blechnum* sp., *Chusquea quila*, *Rubus ulmifolius*, *Greigia* sp., *Sophora cassioides* y *Persea lingue*.

Tabla 10: Número de individuos y su equivalencia en porcentaje de las especies registradas en las categorías de ≥ 20 cm, ≥ 80 cm y < 80 cm para el Bosque.

Categorías	N° de individuos	Porcentajes
≥ 20 cm	369	49.00398
≥ 80 cm	108	14.34263
< 80 cm	276	36.65339
Total	753	100

2.1.3- Plantación:

Para la Plantación la categoría más representada corresponde a las especies con un tamaño < 80 cm, seguido muy de cerca por las especies con un tamaño de ≥ 20 cm. Para este hábitat se obtuvo el valor de riqueza de especies más bajo, con un total de cuatro especies, las cuales corresponden a *P. radiata*, *Eucalyptus* spp., *R. ulmifolius* y *C. quila*.

Tabla 11: Número de individuos y su equivalencia en porcentaje de las especies registradas en las categorías de ≥ 20 cm, ≥ 80 cm y < 80 cm para la Plantación.

Categorías	N° de individuos	Porcentajes
≥ 20 cm	204	41,21212
≥ 80 cm	84	16,9697
< 80 cm	207	41,81818
Total	495	100

2.1.3- Quebrada

En la Quebrada la categoría con mayor representación corresponde a las especies con tamaños < 80 cm, seguido nuevamente por las que presentaban un tamaño ≥ 20 cm. Es el segundo tipo de hábitat con mayor riqueza, con un total de cinco especies correspondientes a *Laurelia sempervirens*, *Luma apiculata*, *R. ulmifolius*, *C. quila* y *P. lingue*.

Tabla 12: Número de individuos y su equivalencia en porcentaje de las especies registradas en las categorías de ≥ 20 cm, ≥ 80 cm y < 80 cm para la Quebrada.

Categorías	N° de individuos	Porcentajes
≥ 20 cm	221	34,37014
≥ 80 cm	138	21,4619
< 80 cm	284	44,16796
Total	643	100

2.2- Cobertura del dosel e índice de área foliar (IAF)

El hábitat que posee en promedio la mayor cobertura del dosel corresponde al Bosque seguido por la Quebrada y por último la Plantación. Para el IAF se observa el mismo patrón. El hábitat más complejo fue Bosque, seguido por la Quebrada y por último la Plantación (Tabla 13).

Tabla 13: Tabla resumen de los valores de apertura del dosel (%CO), cobertura del dosel (%CC) y la estimación del índice de área foliar (IAF) para cada uno de los tipos de hábitat del estudio.

Tipo de Hábitat	%CO	%CC	IAF
Bosque	9,085	90,915	3,8875
Plantación	19,544	80,455	2,437
Quebrada	14,873	85,126	3,165

2.3- Efecto de la cobertura vegetal y el IAF en las frecuencias vocales de las especies de la familia Rhinocryptidae.

2.3.1- *Scelorchilus rubecula* (Chucao)

Para la vocalización de llamada (V_CHU) y su relación con %CO (ANEXO: Fig. 12), la F.min se asoció positiva y significativamente con él %CO ($p < 0,001$) (lugares más “abiertos”- F. min aumenta). El TTV se relacionó negativa y significativamente con él %CO ($p < 0,001$) (lugares más “abiertos” – TTV es menor). En relación a esta vocalización con el IAF (ANEXO: Fig. 13), se obtuvo una relación significativamente negativa ($p < 0,001$) para la F.min y FMA ($p: 0,0094$) (lugares con mayor área foliar – F.min y FMA es menor) y una relación significativamente positiva ($p: 0,0104$) para el TTV (lugares con mayor área foliar – TTV aumenta).

Para la vocalización de contacto “C4_CHU” y su relación con %CO (ANEXO: Fig. 14), se obtuvieron relaciones significativamente positivas para la F. min ($p: < 0,001$) y FMA ($p: 0,0374$) (lugares más “abiertos” - F. min y FMA aumentan).

Por otro lado, la F. min presentó una relación significativamente negativa con el IAF (ANEXO: Fig. 15) (lugares con mayor área foliar – F. min disminuye; $p: 0,0032$). Por último, para la vocalización de contacto “C6_CHU” no se observaron relaciones significativas con %CO y IAF (ANEXO: Fig. 16 y 17; ($p>0,05$)).

2.3.2- *Eugralla paradoxa* (Churrín de la Mocha)

La vocalización de llamada (V_CM) no mostró asociación significativa con el %CO (ANEXO: Fig. 18). En cambio, se encontraron para todas las variables del estudio relaciones significativamente positivas con el IAF ($p<0,001$) (en lugares con mayor área foliar – F.max, F.min, FMA y TTV aumentan, ANEXO: Fig. 19).

Para el contacto “C3_CM” y su relación con %CO (ANEXO: Fig. 20) se determinaron relaciones significativamente negativas ($p<0,001$) para la F. min y el TTV (lugares más “abiertos”- F. min y TTV disminuyen) y una relación significativamente positiva para la FMA (lugares más “abiertos”- FMA aumenta).

En el caso de la relación con el IAF (ANEXO: Fig. 21), se encontraron para todas las variables del estudio relaciones estadísticamente significativas. Para la F. máx y el TTV positivas ($p<0,001$) (lugares con mayor área foliar – F.max y TTV aumentan) y para la F. min y la FMA relaciones negativas ($p: 0,003$ y $p: 0,02$ respectivamente) (lugares con un área foliar mayor la F.min y FMA disminuyen).

Por último, para el contacto “C4_CM” y su relación con %CO (ANEXO: Fig. 22) se obtuvieron relaciones significativas para todas las variables ($p<0,001$), positivas para la F.min y el TTV (lugares más “abiertos”- F. min y TTV aumentan)

y negativas para la F. máx y la FMA (lugares más “abiertos”- F. máx y FMA disminuyen). Para la relación de esta vocalización con el IAF (ANEXO: Fig. 23) existieron dos relaciones significativamente negativas ($p < 0,001$) para la F. min y el TTV (lugares con mayor área foliar – F. min y el TTV disminuyen) y una relación significativamente positiva para la F. máx (lugares con mayor área foliar la F.max aumenta).

2.3.3- *Scytalopus fuscus* (Churrín del Norte)

La F. máx de la vocalización de llamada se relacionó positivamente con él %CO (ANEXO: Fig. 24; $p: 0,0324$) (lugares más “abiertos” – F. máx aumenta). Por otra parte, la F. máx se asoció negativamente con el IAF (ANEXO: Fig. 25; $p: 0,0095$) (lugares con mayor área foliar – F. máx disminuye).

2.3.4- *Pterotochos castaneus* (Hued Hued):

La vocalización de llamada de la especie (V_HH) no se relacionó con él %CO ni con el IAF (ANEXO: Fig. 26 y 27).

Para la vocalización de contacto “C1_HH”, la F. máx y la FMA se relacionaron positivamente con él %CO (ANEXO: Fig. 28; $p: 0,0157$ y $p: < 0,001$, respectivamente) (lugares más “abiertos” - F.max y FMA aumentan), mientras que se observó una relación significativamente negativa entre el TTV ($p: < 0,001$) y el %CO (lugares más “abiertos” – TTV disminuye). La F. máx y la FMA se asociaron negativa y significativamente con el IAF (ANEXO: Fig. 29; $p: 0,0015$ y $p: < 0,001$, respectivamente) (lugares con mayor área foliar – F. máx y FMA

disminuyen) y existió una relación significativamente positiva con el TTV ($p:<0,001$) (lugares con mayor área foliar – TTV aumenta).

Para la última vocalización de contacto de esta especie (C2_HH), se determinó relaciones significativamente negativas para todas las variables del estudio (ANEXO: Fig. 30; $p:<0,001$) (lugares más “abiertos”- F. máx, F. min, FMA y TTV disminuyen). Mientras que todas las variables se relacionaron positiva y significativamente con el IAF (ANEXO: Fig. 31; $p:<0,001$) (lugares con mayor área foliar – F.max, F. min, FMA y el TTV aumentan).

Discusión

En este estudio se evaluó la hipótesis de adaptación acústica, la cual plantea que la estructura del hábitat en donde se encuentran las aves influye en la estructura y valores de frecuencia de las vocalizaciones, prediciendo que en ambientes abiertos (menor cobertura del dosel) presentaran valores de frecuencia mínima mayor y tiempo total de la vocalización menor. Los resultados de esta investigación solo presentan un apoyo parcial a la hipótesis propuesta para algunas de las especies evaluadas, producto de esto la hipótesis es rechazada, coincidiendo de esta forma con Hardt & Benedict (2021) y Sebastian-Gonzales (2018), quienes indican que el factor ambiental, pese a que genera las variaciones en las vocalizaciones, no es el único.

Para el caso de *S. rubecula*, observamos que solo dos de las tres vocalizaciones registradas (llamada “V_CHU” y contacto “C4_CHU”) mostraron F. min mayores y tiempos menores en lugares que presentaban una apertura del dosel alta (“más abiertos”) e IAF menores como se había predicho. Contrario a lo observado en *E. paradoxa*, donde las vocalizaciones de llamada (“V_CM”) y contacto (“C3_CM”) presentaron una F.min mayor en lugares con menor apertura del dosel (“más cerrados”) y TTV solo para el caso de “C3_CM” en lugares con aperturas de dosel mayores (“más abiertos”). La vocalización restante (contacto “C4_CM”) es la que presenta F. min mayor en lugares con mayor apertura del dosel (“más abiertos”) pero presenta tiempos mayores en los mismos lugares. Con estos resultados podríamos mencionar que el factor ambiental, si bien es relevante, no

estaría explicando las variaciones para esta especie, o al menos no en su totalidad. Para *S. fuscus* las frecuencias mínimas no cambiaron entre hábitats, pero si existen diferencias importantes en la F. máx. Por ejemplo, para la vocalización de llamada “V_CN” se presentan F. máx mayores en lugares con mayor apertura del dosel e IAF (“más abiertos”). Si bien es una relación importante, no estaría predicha bajo la hipótesis planteada. Por último, para *P. castaneus* la vocalización de contacto “C1_HH” presenta solo tiempos menores en lugares con aperturas de dosel mayores e IAF menores (“más abiertos”). Además, se encontró que todas las variables estudiadas para la vocalización de contacto “C2_HH” presentan valores menores en lugares con mayor apertura del dosel e IAF menores (“más abiertos”). Con lo anterior la hipótesis planteada se cumple para las dos vocalizaciones de *S. rubecula* y una vocalización de *P. castaneus*, ahora ¿Qué pasa con las vocalizaciones de las demás especies? ¿El factor ambiental es el único factor a considerar? ¿Las diferencias son predichas solo por la AAH? ¿La F.min es la única importante en las predicciones?, estas son las incógnitas que abordaremos.

La hipótesis de adaptación acústica se ha puesto a prueba en diferentes especies de aves (Phillips et al. 2020; Sebastian-Gonzales et al. 2018; Hansen et al. 2005; Perla et al 2002), como también otros grupos de animales (Lengagne et al. 2020; Goutte et al. 2018; Velázquez et al. 2018). Para el caso en específico de las aves, se ha registrado que algunas especies que responden a las predicciones de la AAH. Por ejemplo, Sebastian-Gonzales et al (2018) estudiaron 5 especies y en

solo 2 de ellas (*Drepanis coccinea* y *Chlorodrepanis virens*) se observó cambios en las frecuencias debido al ambiente. También se ha registrado diferenciación de un tipo de vocalización entre ambientes modificando sus frecuencia o estructura (Priyadarshani et al. 2018; Brown & Handford 2003) como podría ser el caso de *S. fuscus* que solo presenta un aumento en la F. máx y no se registró otra vocalización para esta especie en el estudio, deduciendo de cierta forma que solo el cambio en una vocalización es igual de relevante que en más de una, como por ejemplo en el caso de *S. rubecula*.

Por otro lado, numerosos estudios no registran interacción entre factores ambientales y vocalizaciones (Sebastian-Gonzales et al. 2018; Graham et al. 2017; Hansen et al. 2005; Padgham 2004).

Esta problemática radica en la catalogación de los denominados “hábitats distintos o contrastantes” y los enfoques metodológicos de los estudios. En donde estos han utilizado variadas metodologías para determinar estas diferencias. Por ejemplo, en un estudio realizado donde se comparó bosques caducifolios con un bosque de coníferas mediante el uso de grabaciones sintetizadas (Lemon & Date 1993), diferenciándolos según condiciones climáticas como bosque húmedo, seco y costero utilizando bases de datos de vocalizaciones grabadas (Graham et al. 2017). También la utilización de metodologías de diferenciación de hábitat parecidas, pero con utilización de vocalizaciones obtenidas directamente en el lugar (grabaciones naturales) (Phillips et al. 2020) e incluso la utilizada en este

estudio con fotografías hemisféricas y una identificación de las vocalizaciones tomadas en terreno mediante base de datos ya existentes.

Hard & Benedict en 2021 mencionan que esta problemática metodológica puede solucionarse uniformando los estudios en la integración de variables cuantitativas más específicas para diferenciar de forma objetiva estos “hábitats distintos”.

Lo anterior se puede solucionar mediante la integración de mediciones de densidad vegetal mediante tecnologías LIDAR (ver Phillips et al. 2020; Sebastian-Gonzales et al. 2018; Priyadarshani et al. 2018), como también la determinación de la propagación de la señal vocal mediante la determinación de la distancia de la comunicación, relación de desenfoque o pérdida de volumen, exceso de atenuación y su relación con las variables climáticas, como también considerar el ancho de banda de estas vocalizaciones (Hard & Benedict 2021; Holzmann & Areta 2020; Mouterde et al. 2014; Barker et al. 2009).

Esta dificultad que existe en determinar las diferencias de forma clara entre los hábitats también es debido a los efectos temporales que estos presentan, los cuales pueden favorecer o no la propagación de las vocalizaciones. Si bien, mostramos resultados claros de la existencia de variaciones estructurales y a nivel de frecuencia de las vocalizaciones al comparar hábitats, estas podrían no necesariamente ser generadas debido a que la cobertura y el IAF son variables a través de las estaciones del año y presentan un menor peso que tecnologías más avanzadas como LIDAR (Phillips et al. 2020).

Algunos estudios en aves han encontrado diferencias en las vocalizaciones al comparar bosques en el periodo previo y post foliación (Mockford et al. 2011; Blumenrath & Dabelsteen 2004; Nemeth et al. 2001; Holland et al. 1998). Esto sugiere que la estructura del hábitat en temporadas distintas actúe como una presión selectiva adicional para las vocalizaciones (Hardt & Benedict 2021). Al considerar esto la cantidad de cobertura vegetal del lugar de estudio debería cambiar a lo largo de las estaciones al presentar especies caducifolias con lo que las variaciones obtenidas pueden ser mas claras o incluso se pueden registrar especies que no cambian sus vocalizaciones. Por lo tanto, realizar estudios en escalas temporales más finas serían más útiles para evaluar la AAH y así esclarecer las diferencias que presentan las vocalizaciones de estos rinocriptidos.

Otros factores importantes para la caracterización del hábitat que han sido considerados en otros estudios, pueden aportar información a las diferencias encontradas como lo son la temperatura, la humedad, además de considerar temporadas pre y post foliación, procesos meteorológicos, distancia entre los habitats etc. (Hardt & Benedict 2021).

Como observamos, el ambiente es un factor importante, pero existe la posibilidad que la presencia de estas variaciones no sea producida netamente por el ambiente, sino que también haya que considerar las características morfológicas de las especies.

En relación a esto se ha demostrado que las variaciones de las vocalizaciones de las aves también pueden deberse a su morfología, en específico de la siringe, ya que existe una relación directa entre el tamaño del ave y de la siringe determinando que una siringe de mayor tamaño producirá vocalizaciones de frecuencias más bajas (Arévalo 2019). Esto podría ser evaluado en cada una de las especies para así determinar si existen el factor ambiental tiene influencias en el tamaño de estas aves.

Pero qué pasa con aquellas especies que no presentan tamaños corporales tan grandes como es el caso de *E. paradoxa*, *S. fuscus* e incluso *S. magellanicus* que son catalogadas como las especies más pequeñas de la familia al ser observadas en terreno (Martínez-Piña & González-Cifuentes 2017).

Una respuesta a esto radica en el estudio de Melo & Vega en el 2020. Este estudio registro variaciones vocales para especies del género *Scytalopus* estas variaciones estaban relacionadas con un factor morfológico específicamente el tamaño corporal denominando a este proceso “Hipótesis de Adaptación Morfológica” para el grupo de los andes tropicales (Melo & Vega 2020).

Con lo anterior nuevamente queda en evidencia que no solo las variaciones vocales para las especies de la familia Rhinocryptidae en específico pueden deberse a factores ambientales, si no podrían estar interaccionando con la morfología de las especies, interacciones sociobiológicas del ensamble de aves/fauna. Con esto queda clara la necesidad de realizar estudios que consideren no solamente el factor ambiental, sino que otros factores como

mencionamos y así relacionarlo con las posibles variaciones de las vocalizaciones.

Como hemos mostrado hasta el momento es muy difícil tomar una decisión al respecto del factor que estaría en juego al momento de las variaciones vocales de estas especies si el factor ambiental considerando todo lo que incluye, el factor morfológico o incluso un factor cultural o aprendizaje de las vocalizaciones. Ahora bien, no se encontraron variaciones para todas las especies del estudio en las F. min y el TTV como predice la AAH, por el contrario, se encontraron otras variaciones en los valores de F. max, solo en el TTV e incluso en los valores de FMA como son el caso de las vocalizaciones de *E. paradoxa*, algunas vocalizaciones de *P. castaneus* y también el caso de *S. fuscus*.

Una forma de abordar esto radica en la capacidad de las aves para poder utilizar vocalizaciones distintas si efectivamente las presiones del ambiente son significativas (Hardt & Benedict 2021). Se ha determinado un mayor apoyo de las predicciones de la AAH en aves oscinas ya que sus señales acústicas se caracterizan por tener un largo alcance además de una plasticidad vocal para poder adaptarse al hábitat sonoro (Hardt & Benedict 2021).

La familia Rhinocryptidae. (Hardt & Benedict 2021; Norambuena & Victoriano 2020) son la evidencia clara de la poca cantidad de estudios en relación a este grupo de aves. Estos autores mencionan la importancia de evaluar la AAH en este grupo de aves para esclarecer por ejemplo las diferencias encontradas a

nivel individual de las vocalizaciones de *S. rubecula* (Normabuena & Victoriano 2020).

Nuestros resultados, muestran apoyo parcial a las predicciones de la AAH. Con esto surge la necesidad de esclarecer de mejor forma lo planteado por la AAH. Esto se puede realizar mediante la utilización de nuevas metodologías en relación a la diferenciación de los hábitats (Hardt & Benedict 2021), como también realizar estimaciones de la calidad de la transmisión y distancia de la señal, donde la utilización de estas estimaciones se considera como las más óptimas para hacer comparaciones entre ambientes (Graham et al. 2017; Piza & Sandoval 2016).

Un factor relacionado directamente con el uso de las vocalizaciones es el proceso de nidificación de las aves (Altamirano et al. 2012). Considerando que es un fenómeno catalogado como de alto interés de estudio debido a la fragilidad y complejidad de este y por ser un periodo que debe funcionar a la perfección (Altamirano et al. 2012), por esto, es que surge la incógnita de como se ve afectado el éxito reproductivo de las aves debido a las posibles variaciones del factor ambiental.

Hemos determinado, por ejemplo, para *S. rubecula* un aumento de la F. min en sus vocalizaciones presentes en la Plantación, esto conlleva un rango vocal mayor que en los otros ambientes vocalizando así mas fuerte en la Plantación.

Lo anterior podría afectar al éxito reproductivo de los individuos que están en la Plantación, debido al aumento en los costos energéticos que demanda la

reproducción y el cuidado del nido (Altamirano et al 2012) donde los individuos mientras incuban destinarían gran parte de su energía a este proceso (eg: Altamirano et al. 2012; Mendes et al. 2011, Tubaro & Segura, 1989), asignando menos energía al canto.

Con lo anterior y al presentar vocalizaciones que demandarían más gasto energético y al ser más fuertes estas perjudicarían de cierto modo el éxito reproductivo e incluso el posterior cuidado del territorio, ya que se ha determinado que las aves en general presentan un sistema reproductivo reducido donde los costos energéticos son de vital importancia y por esto en general las aves se dedican al 100% (Altamirano et al. 2012). Esto de una manera determina que un cambio puede influir directamente en la no reproducción del individuo.

Esto tiene directa relación con la baja cantidad de grabaciones obtenidas en la Plantación para las especies del estudio, esto debido a los costos que significa la reproducción para estas aves que no poseen una capacidad de vuelo alta con lo que no presentan una alta plasticidad en la selección del territorio de nidificación como otras especies (García 2019) incluso llegando a posturas de un huevo más en lugares más abiertos y fragmentados debido a la pérdida de un nido previo (De Santo 2002).

La información entregada por este trabajo aporta en el conocimiento de la historia natural de las especies de la familia Rhinocryptidae, y entrega de resultados pioneros en relación al impacto que produce la estructura del hábitat en los valores de frecuencia de las vocalizaciones en aves suboscinas. Si bien nuestros

resultados sustentan solo para dos especies de las cinco especies evaluadas la AAH, sugerimos un estudio que tome en cuenta un periodo más amplio y considere otros factores tales como temperatura, humedad, morfología, aprendizaje de las vocalizaciones, el factor cultural y los aspectos reproductivos de estas especies.

Literatura Citada

1. Altamirano T.A., Ibarra, J.T., Hernández, F., Rojas, I., Laker, J., & Bonacic, C. (2012). Hábitos de nidificación de las aves del bosque templado andino de Chile. Fondo de Protección Ambiental, Ministerio del Medio Ambiente. Serie Fauna Australis, Facultad de Agronomía e Ingeniería Forestal, Pontificia Universidad Católica de Chile. 113.
2. Barker, N. K., Dabelsteen, T., & Mennill, D. J. (2009). Degradation of male and female rufous-and-white wren songs in a tropical forest: effects of sex, perch height, and habitat. *Behaviour*, 1093-1122.
3. Belasen, A. M., Bletz, M. C., Leite, D. D. S., Toledo, L. F., & James, T. Y. (2019). Long-term habitat fragmentation is associated with reduced MHC IIB diversity and increased infections in amphibian hosts. *Frontiers in Ecology and Evolution*, 6, 236.
4. Bradbury, J.W., Vehrencamp, S.L. 1998. Principles of animal communication. Sinauer Associates, Sunderland, MA, USA.
5. Briant, G., Gond, V., & Laurance, S. G. (2010). Habitat fragmentation and the desiccation of forest canopies: a case study from eastern Amazonia. *Biological Conservation*, 143(11), 2763-2769.
6. Brumm, H., & Slabbekoorn, H. (2005). Acoustic communication in noise. *Advances in the Study of Behavior*, 35, 151-209.
7. Brunet, J., Valtinat, K., Mayr, M. L., Felton, A., Lindbladh, M., & Bruun, H. H. (2011). Understory succession in post-agricultural oak forests: habitat fragmentation affects forest specialists and generalists differently. *Forest Ecology and Management*, 262(9), 1863-1871.
8. Carvajal León, M. (2017). Fragmentación y pérdida de hábitat en especies especialistas de bosques: Chucao (*Scelorchilus rubecula*) como especie focal. Disponible en <http://repositorio.uchile.cl/handle/2250/152382>
9. Catchpole, C. K., & Slater, P. J. (2003). Bird song: biological themes and variations. Cambridge university press.
10. Cayuela, L. (2009). Modelos lineales generalizados (GLM). Materiales de un curso del R del IREC.
11. Correa, A., Mpodozis, J., & Sallaberry, M. (2014). Chilean Rhinocryptidae (Avian): speciation. Publisher LAP Lambert Academic Publishing. Germany.

12. Clements, J. F., Schulenberg, T. S., Iliff, M. J., Billerman, S. M., Fredericks, T. A., Sullivan, B. L., & Wood, C. L. (2019). The eBird/Clements Checklist of Birds of the World: v2019. Downloaded from <https://www.birds.cornell.edu/clementschecklist/download/>
13. Díaz, I. A., Armesto, J. J., Reid, S., Sieving, K. E., & Willson, M. F. (2005). Linking forest structure and composition: avian diversity in successional forests of Chiloé Island, Chile. *Biological conservation*, 123(1), 91-101.
14. Didham, R.K. (2010). Ecological Consequences of Habitat Fragmentation. In eLS, (Ed.).
15. Dingle, C., Halfwerk, W., & Slabbekoorn, H. (2008). Habitat-dependent song divergence at subspecies level in the grey-breasted wood-wren. *Journal of Evolutionary Biology*, 21(4), 1079-1089.
16. Ericson, P. G., Irestedt, M., & Johansson, U. S. (2003). Evolution, biogeography, and patterns of diversification in passerine birds. *Journal of Avian Biology*, 34(1), 3-15.
17. Ey, E., & Fischer, J. (2009). The “acoustic adaptation hypothesis”—a review of the evidence from birds, anurans and mammals. *Bioacoustics*, 19(1-2), 21-48.
18. Frazer, G. W., Canham, C. D., & Lertzman, K. P. (1999). Gap Light Analyzer (GLA), Version 2.0: Imaging software to extract canopy structure and gap light transmission indices from true-colour fisheye photographs, user’s manual and program documentation. Simon Fraser University, Burnaby, British Columbia, and the Institute of Ecosystem Studies, Millbrook, New York, 36.
19. Foote, J. R., Palazzi, E., & Mennill, D. J. (2013). Songs of the Eastern Phoebe, a suboscine songbird, are individually distinctive but do not vary geographically. *Bioacoustics*, 22(2), 137-151.
20. Gandini, P., Frere, E., & Boersma, P. D. (1997). Efectos de la calidad de hábitat sobre el éxito reproductivo del pingüino de Magallanes (*Spheniscus magellanicus*) en Cabo Vírgenes, Santa Cruz, Argentina. *Ornitología Neotropical*, 8(1), 37-48.
21. García Salazar, F. J. (2019). Plasticidad en la selección de sitios de anidamiento y éxito reproductivo en *Spizella wortheni* (Doctoral dissertation, Universidad Autónoma de Nuevo León).

22. Gibb, R., Browning, E., Glover-Kapfer, P., & Jones, K. E. (2019). Emerging opportunities and challenges for passive acoustics in ecological assessment and monitoring. *Methods in Ecology and Evolution*, 10(2), 169-185.
23. González, E. (2020). Efecto de las características físicas del hábitat sobre el éxito reproductivo de cuatro especies de aves que utilizan los Talares Bonaerenses como sitio de nidificación (Doctoral dissertation, Universidad Nacional de La Plata).
24. Hart, P. J., Hall, R., Ray, W., Beck, A., & Zook, J. (2015). Cicadas impact bird communication in a noisy tropical rainforest. *Behavioral ecology*, 26(3), 839-842.
25. Haddad, N. M., Brudvig, L. A., Clobert, J., Davies, K. F., Gonzalez, A., Holt, R. D., & Cook, W. M. (2015). Habitat fragmentation and its lasting impact on Earth's ecosystems. *Science advances*, 1(2), e1500052.
26. Hill, A. P., Prince, P., Snaddon, J. L., Doncaster, C. P., & Rogers, A. (2019). AudioMoth: A low-cost acoustic device for monitoring biodiversity and the environment. *HardwareX*, 6, e00073.
27. Hill, A. P., Prince, P., Piña Covarrubias, E., Doncaster, C. P., Snaddon, J. L., & Rogers, A. (2018). AudioMoth: Evaluation of a smart open acoustic device for monitoring biodiversity and the environment. *Methods in Ecology and Evolution*, 9(5), 1199-1211.
28. Holzmann, I., & Areta, J. I. (2020). Reduced geographic variation in roars in different habitats rejects the acoustic adaptation hypothesis in the black-and-gold howler monkey (*Alouatta caraya*). *Ethology*, 126(1), 76-87.
29. Graham, B. A., Sandoval, L., Dabelsteen, T., & Mennill, D. J. (2017). A test of the Acoustic Adaptation Hypothesis in three types of tropical forest: degradation of male and female Rufous-and-white Wren songs. *Bioacoustics*, 26(1), 37-61.
30. Jaramillo, Á., Burke, P., & Beadle, D. (2014). *Aves de Chile*. Lynx Ediciones, Barcelona.
31. JMP[®], versión 16. SAS Institute Inc., Cary, Carolina del Norte, 1989–2021
32. Kirschel, A. N., Blumstein, D. T., Cohen, R. E., Buermann, W., Smith, T. B., & Slabbekoorn, H. (2009). Birdsong tuned to the environment: green hylia song varies with elevation, tree cover, and noise. *Behavioral Ecology*, 20(5), 1089-1095.

33. Laiolo, P., & Arroyo-Solís, A. (2011). La fragmentación del hábitat como determinante de la diferenciación de los sistemas de comunicación animal. *Revista Ecosistemas*, 20(2-3).
34. Laiolo P., Obeso J.R., Roggia Y. 2011. Mimicry as a novel pathway linking biodiversity functions and individual behavioural performances. *Proceedings of the Royal Society B* 278:1072-1081.
35. Laiolo, P., Tella, J.L. 2008. Social determinants of songbird vocal activity and implications for the persistence of small populations. *Animal Conservation* 11:433-441.
36. Laiolo, P., & Tella, J. L. (2005). Habitat fragmentation affects culture transmission: patterns of song matching in Dupont's lark. *Journal of Applied Ecology*, 42(6), 1183-1193.
37. Lemon, R. E., & Date, E. M. (1993). Sound transmission: a basis for dialects in birdsong?. *Behaviour*, 124(3-4), 291-312.
38. Marten, K., & Marler, P. (1977). Sound transmission and its significance for animal vocalization. *Behavioral ecology and sociobiology*, 2(3), 271-290.
39. Martínez-Piña, D. E., & González-Cifuentes, G. E. (2017). *Las Aves de Chile: Guía de Campo y Breve Historia Natural*. Ediciones del Naturalista. Santiago, Chile.
40. Medrano F, Barros R, Norambuena H V, Matus R y Schmitt F. 2018. Atlas de las aves nidificantes de Chile. Red de Observadores de Aves y Vida Silvestre de Chile. Santiago, Chile
41. Melo Velásquez, D. P., & Vega Araque, N. D. (2020). Efecto del hábitat y el tamaño corporal en la variación del canto de las especies del género *Scytalopus* (Rhinocryptidae). (Tesis de pregrado). Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Colombia.
42. Mouterde, S. C., Theunissen, F. E., Elie, J. E., Vignal, C., & Mathevon, N. (2014). Acoustic communication and sound degradation: how do the individual signatures of male and female zebra finch calls transmit over distance?. *PloS one*, 9(7), e102842.
43. Mortelliti, A., Fagiani, S., Battisti, C., Capizzi, D., & Boitani, L. (2010). Independent effects of habitat loss, habitat fragmentation and structural connectivity on forest-dependent birds. *Diversity and distributions*, 16(6), 941-951.

44. Morton, E. S. (1975). Ecological sources of selection on avian sounds. *The American Naturalist*, 109(965), 17-34.
45. Mullet, T. C., Farina, A., & Gage, S. H. (2017). The acoustic habitat hypothesis: An ecoacoustics perspective on species habitat selection. *Biosemiotics*, 10(3), 319-336.
46. Norambuena, H. V., & Victoriano, P. F. (2020). Variación individual e indicios de variación geográfica en el canto territorial del chucao (*Scelorchilus rubecula*) en el centro-sur de Chile. *Gayana (Concepción)*, 84(1), 16-24.
47. Pérez-Granados, C., Osiejuk, T., & López-Iborra, G. M. (2016). Habitat fragmentation effects and variations in repertoire size and degree of song sharing among close Dupont's Lark *Chersophilus duponti* populations. *Journal of Ornithology*, 157(2), 471-482.
48. Patricelli, G. L., & Blickley, J. L. (2006). Avian communication in urban noise: causes and consequences of vocal adjustment. *The Auk*, 123(3), 639-649.
49. Promis, A., & Cruz, G. (2009). Fotografías hemisféricas: un método para estimar estructuras del dosel arbóreo e iluminación en el interior del bosque. *Revista Bosque Nativo*, 44, 12-15.
50. Pyle, P., Engilis Jr, A., & Kelt, D. A. (2015). Manual para estimar edad y sexo de aves terrestres del Parque Nacional Bosque Fray Jorge y Chile Central, con notas sobre rangos de distribución y estación reproductiva (Special Publication of the Occasional Papers of the Museum of Natural Science). Special Publication of the Occasional Papers of the Museum of Natural Science, Louisiana State Univ., Baton Rouge, Louisiana, USA.
51. QGIS.org, 2021. QGIS Geographic Information System. QGIS Association. <http://www.qgis.org>
52. Richards, D. G., & Wiley, R. H. (1980). Reverberations and amplitude fluctuations in the propagation of sound in a forest: implications for animal communication. *The American Naturalist*, 115(3), 381-399.
53. Ripmeester, E. A., Mulder, M., & Slabbekoorn, H. (2010). Habitat-dependent acoustic divergence affects playback response in urban and forest populations of the European blackbird. *Behavioral Ecology*, 21(4), 876-883.

54. Rivera-Ortíz, F. A., Aguilar, R., Arizmendi, M. D. C., Quesada, M., & Oyama, K. (2015). Habitat fragmentation and genetic variability of tetrapod populations. *Animal Conservation*, 18(3), 249-258.
55. Ross, S. R. J., Friedman, N. R., Dudley, K. L., Yoshimura, M., Yoshida, T., & Economo, E. P. (2018). Listening to ecosystems: data-rich acoustic monitoring through landscape-scale sensor networks. *Ecological research*, 33(1), 135-147.
56. Rueda, A. C., & Mpodozis, J. (2008). Speciation of chilean Rhinocryptidae (Avian) based on their behaviour. *Nature Precedings*, 1-1.
57. Seddon, N., & Tobias, J. A. (2010). Character displacement from the receiver's perspective: species and mate recognition despite convergent signals in suboscine birds. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 277(1693), 2475-2483.
58. Sedgwick, JA (2001). Variación geográfica en el canto de los mosqueros del sauce: diferenciación entre *Empidonax traillii adastus* y *E. t. extimus*. *The Auk* , 118 (2), 366-379.
59. Soto-Mora, Y., & Urrutia, J. (2010). Evaluación del estado de conservación de cuatro especies de aves de la familia Rhinocryptidae en un área silvestre protegida en el Sur de Chile. *Acta zoológica mexicana*, 26(2), 401-414.
60. Slabbekoorn, H., & den Boer-Visser, A. (2006). Cities change the songs of birds. *Current biology*, 16(23), 2326-2331.
61. Slabbekoorn, H., & Smith, T. B. (2002). Habitat-dependent song divergence in the little greenbul: An analysis of environmental selection pressures on acoustic signals. *Evolution*, 56(9), 1849-1858.
62. Smith, A. C., Fahrig, L., & Francis, C. M. (2011). Landscape size affects the relative importance of habitat amount, habitat fragmentation, and matrix quality on forest birds. *Ecography*, 34(1), 103-113.
63. Toro, C., Gygli, B., Romo, D., & Benohr, J. (2017). Bosques de la tierra del Biobío. Concepción, Chile. 634pp
64. Tubaro, P. L., & Mahler, B. (1998). Acoustic frequencies and body mass in New World doves. *The Condor*, 100(1), 54-61.
65. Vergara, P. M., Rivera-Hutinel, A., Farías, A. A., Cofré, H., Samaniego, H., & Hahn, I. J. (2014). ¿Cómo responden los animales del bosque a las perturbaciones antropogénicas? *Ecología Forestal: Bases para el Manejo*

Sustentable y Conservación de los Bosques Nativos de Chile. Ediciones Universidad Austral de Chile, Valdivia, Chile, 235-254.

66. Vergara, P. M., & Simonetti, J. A. (2004). Avian responses to fragmentation of the Maulino Forest in central Chile. *Oryx*, 38(4), 383-388.
67. Willson, M. F. (2004). Loss of habitat connectivity hinders pair formation and juvenile dispersal of chucao tapaculos in Chilean rainforest. *The Condor*, 106(1), 166-171.
68. Zevallos, P., & Matthei, O. (1994). Caracterización del bosque nativo del Fundo Escuadrón, Concepción, Chile. *Bosque*, 15(1), 3-13.

Capítulo II: Estudio de repertorio y actividad vocal de cinco especies de rinocriptidos chilenos

Introducción

Las aves son clasificadas en dos grupos dependiendo del tipo de aprendizaje y variación en sus vocalizaciones. El primero corresponde a los aves oscinas que muestran una mayor plasticidad vocal en sus cantos(suborden Passeri). Por otro lado, las suboscinas poseen vocalizaciones con un componente más innato y poco variante (suborden Tyranni, Araya-Salas 2010). Las vocalizaciones usadas por las aves poseen un significado específico o se utilizan en un contexto particular dentro del desarrollo del ciclo biológico (König & Weick 2008, Norambuena & Muñoz-Pedreros 2019). Estas se pueden clasificar a grandes rasgos en “cantos”, donde se incluyen vocalizaciones territoriales o de cortejo, y las “llamadas” las que incluyen señales de agresividad, de contacto, de solicitud, de los polluelos, de socorro y alarma (Andrew 1961). Todos estos cantos y llamadas son de utilidad para la identificación de especies en terreno, como también entre los individuos (König & Weick 2008). Si bien lo anterior es útil, la aplicación de los datos que entregan es de vital ayuda para resolver incógnitas como, por ejemplo, determinar el efecto de estas en mantener reproductivamente aisladas a especies cercanamente emparentadas y que además comparten el mismo hábitat (Benites 2012), estudios comparativos entre ambientes contrastantes para estimar variaciones vocales por efecto de la urbanización (Rojas et al. 2017; Soto 2014), estimación de variaciones de las vocalizaciones a

nivel de individuos a lo largo de una distribución geográfica (Norambuena & Victoriano 2020), estudios etno-ornitológicos para acercar las vocalizaciones a pueblos indígenas (Madroño 2016) y la evaluación de la hipótesis de adaptación acústica (Hardt & Benedict 2021; Mendes et al. 2017; Ey & Fischer 2009; Boncoraglio & Saino 2007). Con esto queda evidenciado que los datos que entregan las vocalizaciones son muy amplios, útiles e interesantes para resolver incógnitas con relación a como interaccionan estos organismos.

La familia Rhinocryptidae corresponde a aves suboscinas, perteneciente al orden Passeriformes la cual incluye 12 géneros con 60 especies a nivel mundial (Clements et al. 2019). En Chile están presentes cuatro géneros con ocho especies, seis de estas especies son endémicas del bosque templado lluvioso del sur de Chile (Johnson 1967) y algunas de ellas están dispersas en Argentina (del Hoyo et al. 2003). Si bien, se han realizado estudios de historia natural para todas estas especies, incluyendo aspectos reproductivos, hábitos alimenticios, rangos de distribución, comportamiento y vocalizaciones, este último es abordado a través de la descripción mediante onomatopeyas (eg: Barceló & Simonetti 2017; Martínez-Piña & Gonzales-Cifuentes 2017; Altamirano et al. 2012; Jaramillo 2004; Correa et al. 1990). Son muy escasos los trabajos recientes que incluyen apartados o capítulos dedicados a las vocalizaciones apoyándose de sonogramas (eg: Norambuena & Victoriano 2020; Vidoz & Areta 2013), siendo este un criterio de relevancia debido a que se considera como factor de ayuda en

la identificación de especies, incluso a una escala más fina a nivel de estudios genéticos (Sangster 2018; Wang et al. 2016; Liu et al. 2016). En base a lo anteriormente expuesto, este estudio tiene como objetivo caracterizar el repertorio y el rango de actividad vocal de cinco especies de rinocriptidos chilenos [Chucaos (*Scelorchilus rubecula*), Churrín de la Mocha (*Eugralla paradoxa*), Churrín del sur (*Scytalopus magellanicus*), Churrín del norte (*Scytalopus fuscus*), Hued hued castaño (*Pteroptochos castaneus*)] que habitan ambientes contrastantes en un área urbana.

Materiales y Métodos

Para detalles de la descripción del sitio de estudio, monitoreo acústico realizado y como se obtuvieron las grabaciones ver Capítulo 1.

1.- Obtención de variables para la caracterización de las vocalizaciones

Luego de obtener las vocalizaciones se realizó un análisis a escala más fina con el programa Raven Pro 1.4 (Bioacoustics Research Program 2011), usando los parámetros del espectrograma (Window–Type: Hann, tamaño: 512 muestras =11,6ms), 3dB filtro ancho de banda: 256 Hz; superposición cuadrícula de tiempo: 50 %, tamaño de salto: 128 muestras (=5,80 ms); frecuencia cuadrícula –DFT: 512 muestras, espaciado cuadrícula: 86.1 Hz. De cada vocalización se obtuvieron los valores de (1) Frecuencia Máxima (F. máx.) y (2) Mínima (F. min.) en Hz, (3) Frecuencia de máxima amplitud (FMA) en Hz y (5) tiempo total de la vocalización (TTV) en seg.

2.- Descripción de los cantos

Para la descripción de los cantos se obtuvieron los sonogramas de cada una de las vocalizaciones de las especies del estudio utilizando el programa Raven Pro 1.4 (Bioacoustics Research Program 2011), para la determinación de diferencias estructurales, se tomaron en cuenta la variación gráfica en el sonograma y las diferencias de Tiempo como también de Frecuencia Máxima y Mínima. Por último se determinó el contexto en el cual esta era utilizada para así poder inferir el uso que presenta la vocalización (contacto, alarma, común, etc.).

3.- Estimación de la actividad vocal de las especies

La actividad vocal se midió como el número de grabaciones por hora, de la siguiente forma. De las grabaciones obtenidas para cada especie se le obtuvo el horario en la cual la grabación fue registrada determinando así el número de grabaciones por hora eliminando las grabaciones que presentaban más de un registro para no sobrestimar las diferencias.

Resultados

1.- Descripción de los cantos y Rangos de actividad Vocal

Se obtuvo un total de 2194 grabaciones para *S. rubecula*, 2526 grabaciones para *E. paradoxa*, 14 grabaciones para *S. magellanicus*, 145 grabaciones para *S. fuscus* y 967 grabaciones para *P. castaneus*. A continuación, se describen las vocalizaciones para cada una de las especies analizadas.

1.1.- *Scelorchilus rubecula* (Chucaao)

Se registraron seis vocalizaciones (una vocalización de llamada y cinco contactos) (Fig. 1). La vocalización de llamada común ("I") corresponde a la vocalización característica de esta ave, la cual presenta entre 6 a 8 notas aproximadamente, con un comienzo y final con tonalidades más graves que las notas de la parte media, las cuales presentan una mayor frecuencia que las demás. Por otro lado, para esta vocalización se registraron diferencias a nivel de la estructura de las notas, donde se obtiene como resultado un aumento de las notas en algunos casos, como también una disminución en el tiempo de la vocalización (Fig. 2). Para las vocalizaciones de contacto, en un comienzo la vocalización "II" presenta una nota de una tonalidad grave y un poco más prolongada en el tiempo en comparación a las otras. En el caso de la vocalización "III", existen dos notas que presentan valores de frecuencia similar a la anterior, pero con una tonalidad grave para la primera nota y una nota un poco más aguda y descendente para la segunda nota. En relación a la vocalización "IV" y "V" estas son muy parecidas en frecuencia y tonalidad,

sin embargo, la vocalización “V” presenta una nota adicional, salvo por esta distinción a nivel de sonido, la vocalización es casi idéntica. Por último, la vocalización “VI” presenta las mayores frecuencias registradas para esta especie, muestra entre tres a cuatro notas, las cuales se caracterizan por ser decrecientes en las frecuencias, siendo la primera nota muy aguda hasta la terminación de la última nota en una tonalidad más grave. Se puede considerar a esta vocalización “VI” como una compresión (menos tiempo) de la vocalización de llamada “I” con un aumento de la frecuencia, tonalidad parecida y tiempo más acotado.

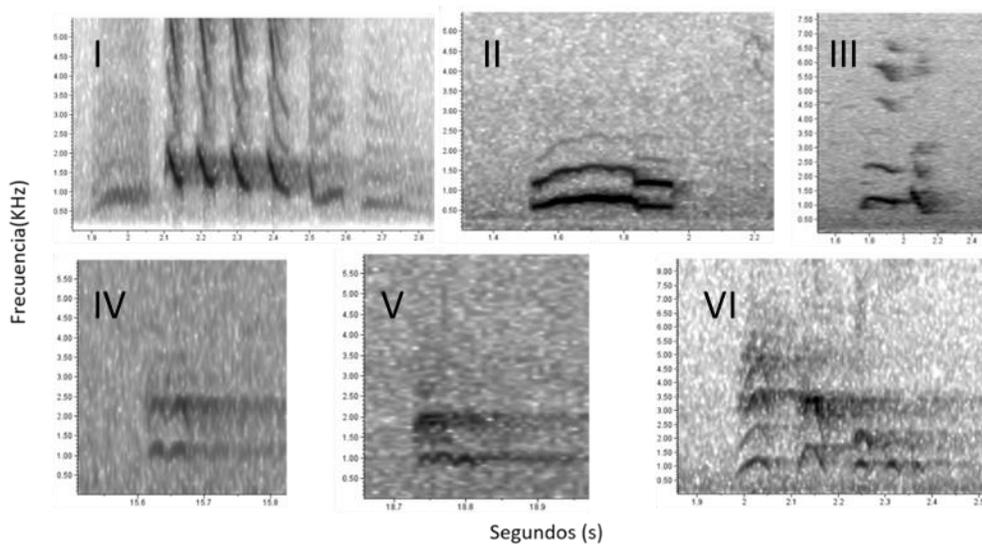


Fig. 1: Sonogramas de las vocalizaciones obtenidas para *S. rubecula*. (I) Vocalización de llamada común “V_CHU”, (II) Vocalización de contacto “C2_CHU”, (III) Vocalización de contacto “C3_CHU”, (IV) Vocalización de

contacto “C4_CHU”, (V) Vocalización de contacto “C5_CHU” y (VI) Vocalización de contacto “C6_CHU”

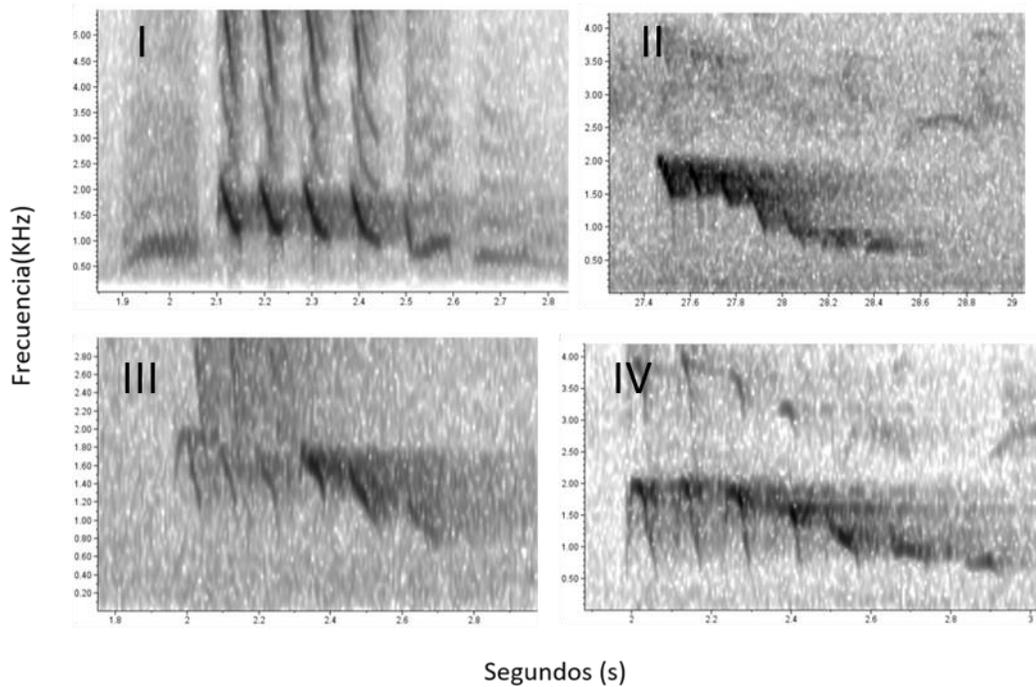


Fig. 2: Sonogramas de las variaciones observadas de la vocalización de llamada común de *S. rubecula* (I)

Al comparar entre los ambientes del estudio (Tabla 1) se registró que *S. rubecula* presenta la mayor diversidad de vocalizaciones en el Bosque, seguido por Quebrada y Plantación, utilizando así un mayor repertorio vocal en el Bosque, Quebrada y Plantación, respectivamente.

Tabla 1: Resumen del número de vocalizaciones obtenidas por tipo de hábitat para *S. rubecula*. Vocalización de llamada común (V_CHU). Vocalizaciones de contacto (C(n)_CHU [n: número del contacto]). Presente (P). Ausente (A).

Vocalización	Bosque	Plantación	Quebrada
V_CHU	P	P	P
C1_CHU	P	A	P
C2_CHU	P	A	P
C3_CHU	P	A	A
C4_CHU	P	A	P
C5_CHU	P	P	P
Total	6	2	5

Para la vocalización de llamada “1” (Fig. 3 A) se registraron dos periodos de mayor actividad para los tres hábitats del estudio. El primer periodo abarca entre las 7:00 y las 13:00 con el mayor número de grabaciones presentes en el Bosque seguido por la Quebrada y por último la Plantación. Para estos dos últimos hábitats el intervalo de tiempo varia, comenzando a las 8:00 y finalizando a las 13:00. El segundo periodo con mayor registro vocal abarca entre las 18:00 y las 21:00, nuevamente con mayor número de grabaciones en el Bosque seguido por la Quebrada y por último en la Plantación. En este caso el Bosque se rige por este rango de actividad, pero en el caso de la Quebrada el intervalo de tiempo es más reducido desde las 19:00 hasta las 20:30, aproximadamente. Para el

caso de la plantación presenta solo un pick dentro de este rango registrado a las 19:30.

Para la vocalización de contacto “IV” (Fig. 3 B) se determinó un rango de actividad vocal entre las 7:00 hasta las 12:00, el Bosque presentó un intervalo acotado en una hora del rango anterior (7:00 – 11:00), mientras que para la Plantación y Quebrada el intervalo de tiempo comenzaba a las 8:00 hasta las 12:00. Por otro lado, podemos observar también registros aislados en horarios después de las 18:30, aproximadamente.

Por último, para la vocalización de contacto “VI” (Fig. 3 C), se registraron dos periodos vocales, el primero más extenso entre las 8:00 hasta las 15:00. En el Bosque el mayor intervalo de actividad desde las 8:00 hasta las 15:00, además de presentar el mayor número de grabaciones. En cambio, la Quebrada y la Plantación presentan el segundo y tercer lugar en relación al número de grabaciones, respectivamente. En relación a los intervalos de tiempo, los comparten aproximadamente entre las 11:00 y las 12:30 los tres hábitats. Mientras que la Quebrada presentó mayor actividad vocal entre las 17:30 y las 18:30.

Respecto al rango de actividad vocal total (rango entre registros más temprano y más tarde en tiempo), destacamos que *S. rubecula* presentó en el Bosque el

mayor rango de actividad vocal en comparación a las demás especies estudiadas. En específico por hábitat, presentó en el Bosque un rango de 14 horas con 30 min (7:00 -21:30), en la Plantación de 13 horas con 30 min (7:15 - 20:45) y para la Quebrada de 14 horas con 45 min (7:00 -21:45).

Tabla 2: Rango de horarios de la actividad vocal registradas en los tres hábitats del estudio para *S. rubecula*.

Vocalización	Bosque	Plantación	Quebrada
V_CHU	7:00 / 21:30	7:15 / 20:30	7:00 / 21:00
C4_CHU	7:30 / 21:15	9:00 / 20:45	7:00 / 21:45
C6_CHU	7:15 / 21:00	9:15 / 19:45	8:00 / 20:30

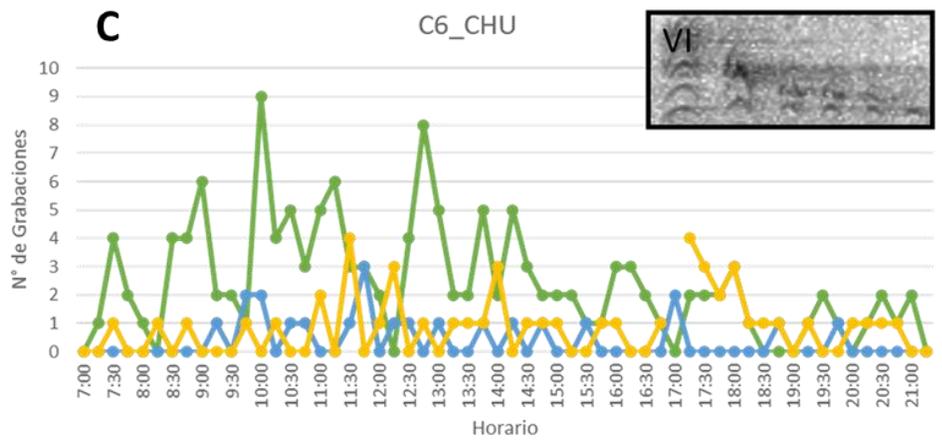
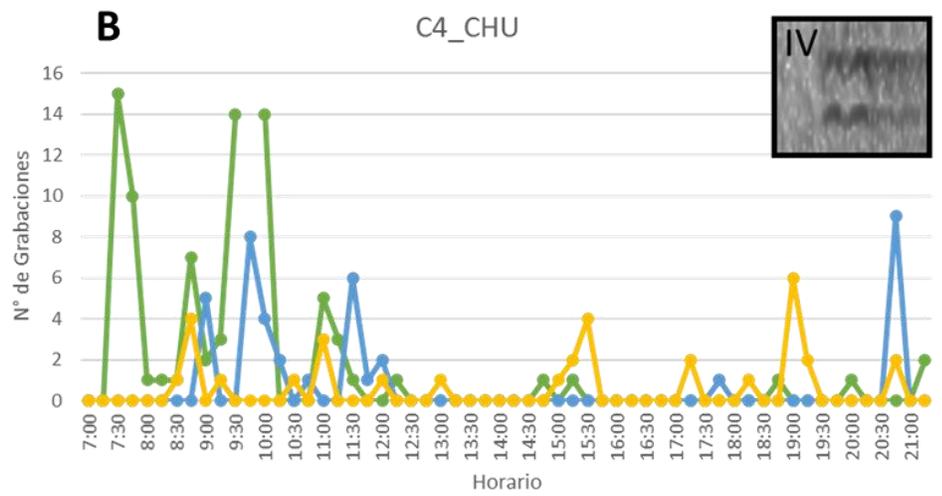
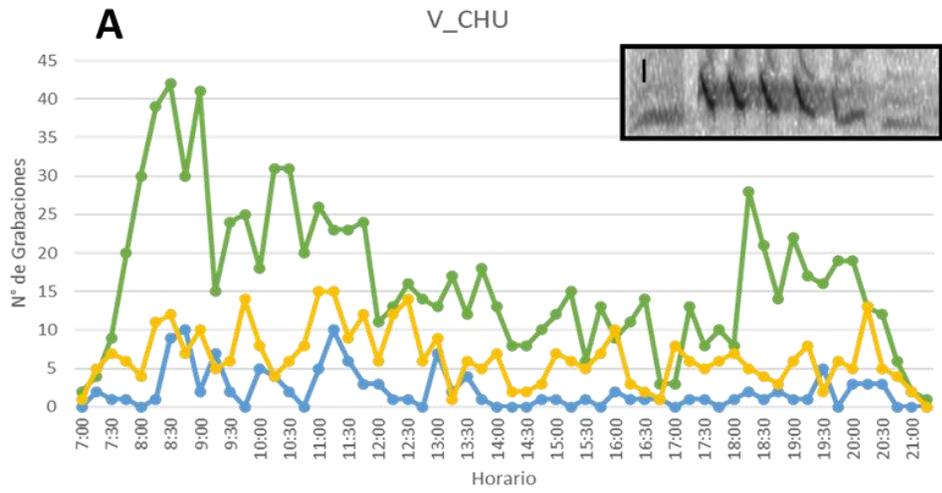


Fig. 3: Rango de actividad vocal total de la vocalización de llamada (“A: V_CHU”) y los contactos (“B: C4_CHU” y “C: C6_CHU”) de *S. rubecula* presentes en los tres hábitats del estudio (Bosque: Verde; Plantación: Azul; Quebrada: Amarillo). La imagen superior derecha muestra el sonograma de las vocalizaciones respectivas.

1.2.- *Eugralla paradoxa* (Churrín de la Mocha):

Se registraron cuatro vocalizaciones (una vocalización de llamada y tres de contactos) (Fig. 4). La vocalización de llamada “I” se caracteriza por presentar entre tres a seis notas al comienzo de la vocalización y si esta es prolongada en el tiempo (hasta 12-15 s) se caracteriza por presentar entre siete y 18 notas (Fig. 5). Las notas de esta vocalización a través del tiempo se caracterizan por mantener la misma tonalidad. Para esta vocalización se presentaron diferencias en las tonalidades dependiendo del individuo, siendo observado fácilmente en el momento de que la especie realiza un dueto. En el caso de las vocalizaciones de contacto “II” y “III” estas son la repetición de una nota que se mantienen a través del tiempo hasta que se utiliza la vocalización de llamada, solo se diferencian a nivel de frecuencia y tonalidad, siendo la vocalización “III” la que presenta los valores más altos. Por último, para la vocalización “IV” (vocalización solo registrada en Bosque y Quebrada) al igual que las vocalizaciones anteriores, son utilizadas a través de un tiempo prolongado (registro de 15 s / 3 min en las grabaciones) consistiendo en la repetición de una nota en un tiempo muy similar a la vocalización de llamada,

pero con una tonalidad mucho más aguda. Se le puede atribuir la utilización de esta a una vocalización de contacto específicamente de alerta, ya que se registraron cuando los individuos interactuaban con otras especies de rinocriptidos (*S. rubecula* y *P. castaneus*) para la defensa territorial del hábitat. Al comparar entre los ambientes del estudio se registró que *E. paradoxa* presenta la mayor cantidad de vocalizaciones registradas en el Bosque (1172), seguido por Quebrada (1140) y Plantación (214).

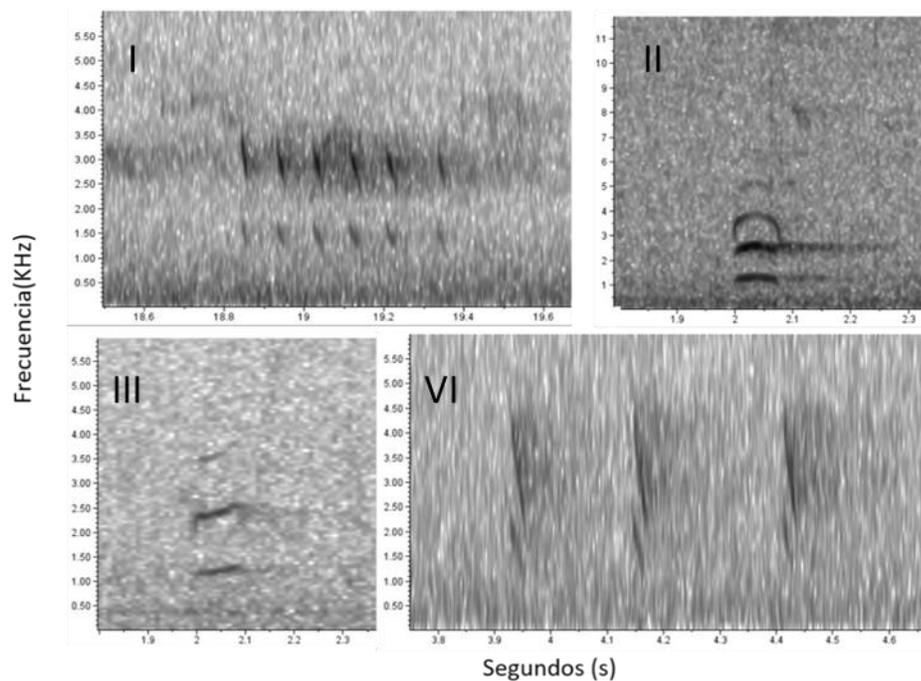


Fig. 4: Sonogramas de las vocalizaciones obtenidas para *E. paradoxa*. (I) Vocalización de llamada común “V_CM”, (II) Vocalización de contacto “C3_CM”, (III) Variación de la vocalización de contacto “C3_CM” y (IV) Vocalización de contacto “C4_CM”.

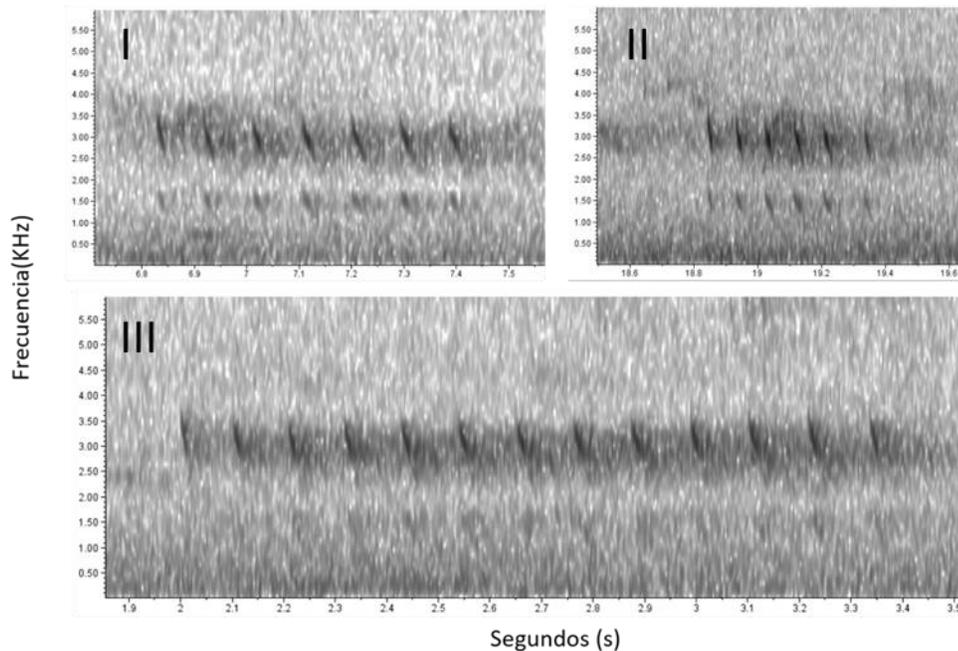


Fig. 5: Sonogramas de las variaciones a nivel de cantidad de notas de la vocalización de llamada “V_CM” de *E. paradoxa*. (I) Vocalización con número de notas común.

Al analizar los rangos de actividad vocal total de esta especie (Tabla 3) se determinó para la vocalización de llamada “I” (Fig. 6 A) un periodo de actividad vocal entre las 7:00 y las 10:00, donde la Quebrada destaca por presentar el mayor número de grabaciones, seguido por el Bosque y por último la Plantación. Cabe señalar que este último hábitat la actividad fue constante durante todo el día no pudiendo identificar periodos de mayor actividad

Para la vocalización de contacto “II” (Fig. 6 B) se determinó un periodo de actividad vocal que abarca desde las 6:45 hasta las 10:45, donde la Quebrada

presenta los mayores números de grabaciones, seguido por el Bosque. En relación a la Plantación se observan picos aislados dentro de todo el rango horario, como también luego de las 10:45 para el Bosque y la Plantación, los que mantienen una actividad constante, pero con menor número de grabaciones.

Para la vocalización de contacto "IV" (Fig. 6 C) que solo se tuvo registro en el Bosque y la Quebrada, existieron dos periodos de actividad vocal compartido entre ambos hábitats, el primero entre las 7:30 y 11:00 y el segundo entre las 19:30 y 21:00. Además, fueron registrados picos aislados entre las 12:00 y 12:30, 17:00 y 18:00 y el último registro a las 19:30.

En relación a los rangos de actividad vocal totales para esta especie se determinó el mayor rango en la Quebrada con 15 horas y 15 min (6:00 - 21:15), seguido por la Plantación con 14 horas (7:00 - 21:00) y por último el Bosque con 13 horas y 45 min (7:15-21:00).

Tabla 3: Rango de horarios de la actividad vocal registradas en los tres hábitats del estudio para *E. paradoxa*.

Vocalización	Bosque	Plantación	Quebrada
V_CM	7:15 / 21:00	7:00 / 20:15	7:00 / 21:00
C3_CM	7:15 / 21:00	7:00 / 21:00	6:00 / 21:15
C4_CM	7:45 / 20:30	//////////	10:30 / 15:30

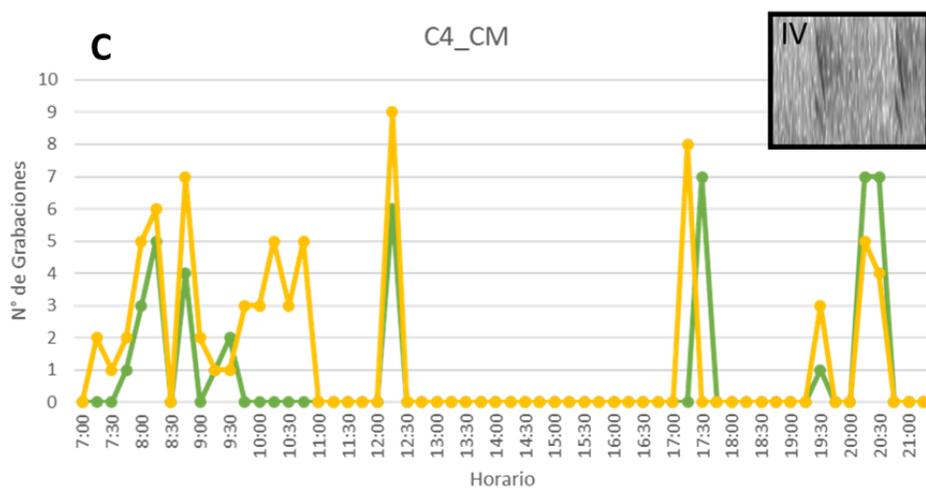
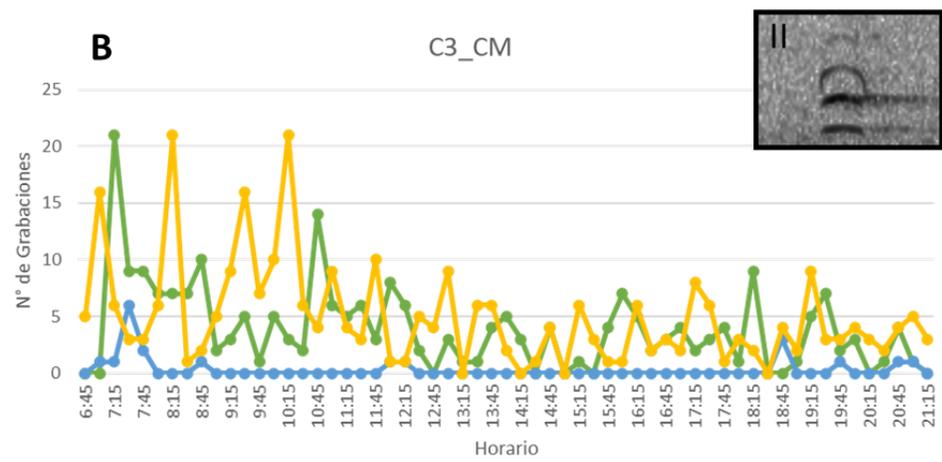
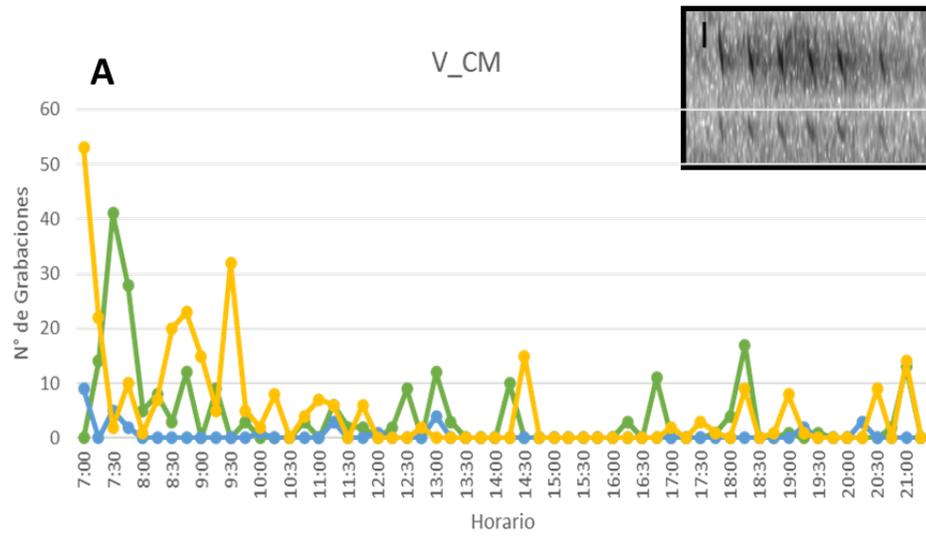


Fig. 6: Rango de actividad vocal total de la vocalización de llamada (“A: V_CM”) y contactos (“B: C3_CM” y “C: C4_CM”) de *E. paradoxa* presentes en los tres hábitats del estudio (Bosque: Verde; Plantación: Azul; Quebrada: Amarillo). La imagen superior derecha muestra el sonograma de las vocalizaciones respectivas.

1.3.- *Scytalopus magellanicus* (Churrín del Sur)

En *S. magellanicus* se obtuvieron 14 registros (6 grabaciones en Bosque y 8 en Quebrada) de vocalizaciones, y solo se registró una vocalización de contacto (Fig. 7). Esta es una vocalización que presenta una nota emitida en un corto periodo de tiempo, además de presentar una frecuencia y tonalidad elevadas. Cabe señalar que es una vocalización de contacto difícil de detectar debido al tiempo de duración de la misma (0,1-0,7 s, aproximadamente) y que la nota no es emitida en intervalos de tiempos regulares como las demás vocalizaciones de las otras especies estudiadas.

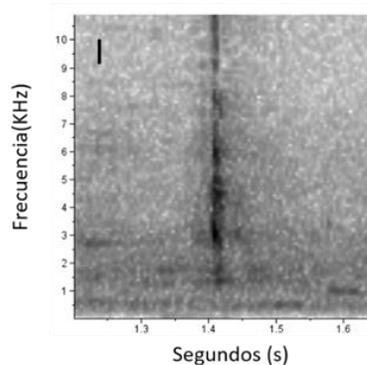


Fig. 7: Sonograma de la vocalización registrada para *S. magellanicus*. (I) Vocalización de contacto “C1_CS”

1.4.- *Scytalopus fuscus* (Churrín del Norte)

Para *S. fuscus* se registró solo la vocalización de llamada de la especie (Fig. 8). Esta vocalización es característica y muy reconocible debido a la repetición de una nota que es ascendente y que al comienzo de la vocalización tiene la particularidad de ir *in crescendo* hasta llegar al valor de frecuencia tope donde luego se mantiene en el tiempo hasta terminar la vocalización. Es la vocalización que presenta el mayor tiempo de duración entre las especies del estudio (registro de dos min en la Quebrada). Al comparar entre los hábitats del estudio se obtuvo que, en cantidad de grabaciones obtenidas, en primer lugar, se encuentra la Quebrada (71), seguido por el Bosque (40) y por último la Plantación (31).

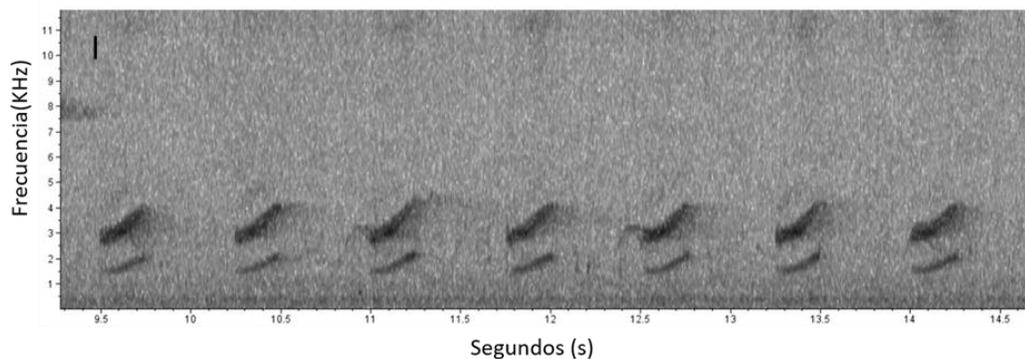


Fig. 8: Sonogramas de la vocalización obtenida para *S. fuscus*. (I) Vocalización de llamada común “V_CN”.

Se registraron dos periodos vocales para esta especie (Fig. 9, Tabla 4). El primero que abarca entre las 7:00 y las 11:30, donde la Quebrada y el Bosque presentan un intervalo un poco más acotado (7:30 - 11:30), siendo este último hábitat el que presenta el mayor número de grabaciones. El segundo periodo se registró entre las 19:00 y las 21:00 variando entre los tiempos según el hábitat, donde la Plantación presentó un intervalo entre las 19:00 y las 20:30, el Bosque entre las 20:00 y las 20:30 y por último la Quebrada entre las 19:30 y las 20:45.

En relacion a los rangos de actividad vocal total, la Quebrada presento el mayor rango vocal con 13 horas y 15 min (7:30- 20:45). Esta especie presentó el mismo rango vocal total en la Plantación y el Bosque con 12 horas y 45 min, pero variaciones en el intervalo horario de 7:15- 20:00 y 7:45 - 20:30, respectivamente.

Tabla 4: Tabla resumen de la actividad vocal compartida entre los tres hábitats del estudio para la vocalización registrada para *S. fuscus*.

Vocalización	Bosque	Plantación	Quebrada
V_CN	7:00 / 20:45	8:45 / 20:00	7:15 / 20:30

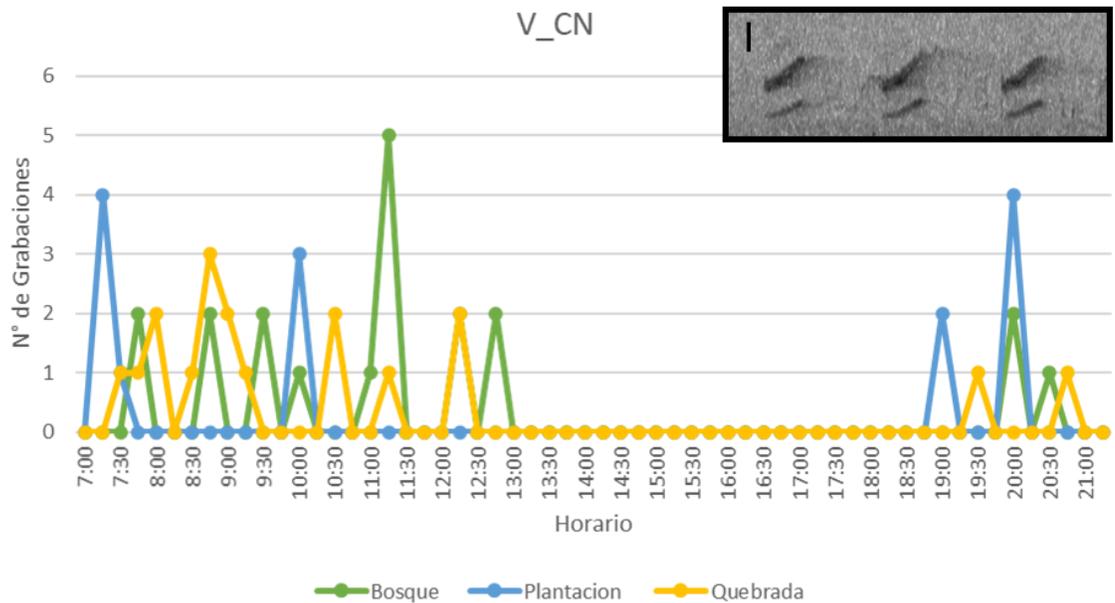


Fig. 9: Rango de actividad vocal total de la vocalización de llamada (I: V_CN) de *S. fuscus*. La imagen superior derecha muestra el sonograma de la vocalización de llamada.

1.5.- *Pterotochos castaneus* (Hued Hued castaño)

Para *P. castaneus* se registraron tres vocalizaciones (una de llamada y dos vocalizaciones de contacto) (Fig. 10). La vocalización de llamada “I” se caracteriza por ser una de las más graves dentro de las cinco especies del estudio. Al igual que *S. fuscus*, se caracteriza por presentar una nota que se repite durante la vocalización y también el inicio de esta es *in crescendo* hasta llegar a la frecuencia tope y posteriormente terminar la vocalización. Para el caso de la vocalización “II”, esta tiene la particularidad de ser muy parecida a la nota

que se utiliza con la de la vocalización de llamada, en este caso el intervalo de tiempo entre las notas es mayor (1 a 2 s) y cuando se registró esta vocalización posteriormente el individuo realizaba la vocalización de llamada. Por último, la vocalización “III” es la más conocida, ya que por ella le otorgaron el nombre común a esta especie. Esta presenta una nota muy particular la cual se repite de diferentes maneras algunas veces con intervalos de tiempo más largos con mayor separación de las notas y otras veces con intervalos de tiempo más cortos con menos separación entre las notas. Presenta una frecuencia máxima notoriamente mayor (1000 Hz de diferencia en promedio) que las demás vocalizaciones de la especie, además de ser la vocalización con mayor número de registros (647 grabaciones). El mayor número de registros fue en el Bosque (615), seguido por la Quebrada (197) y por último la Plantación (155).

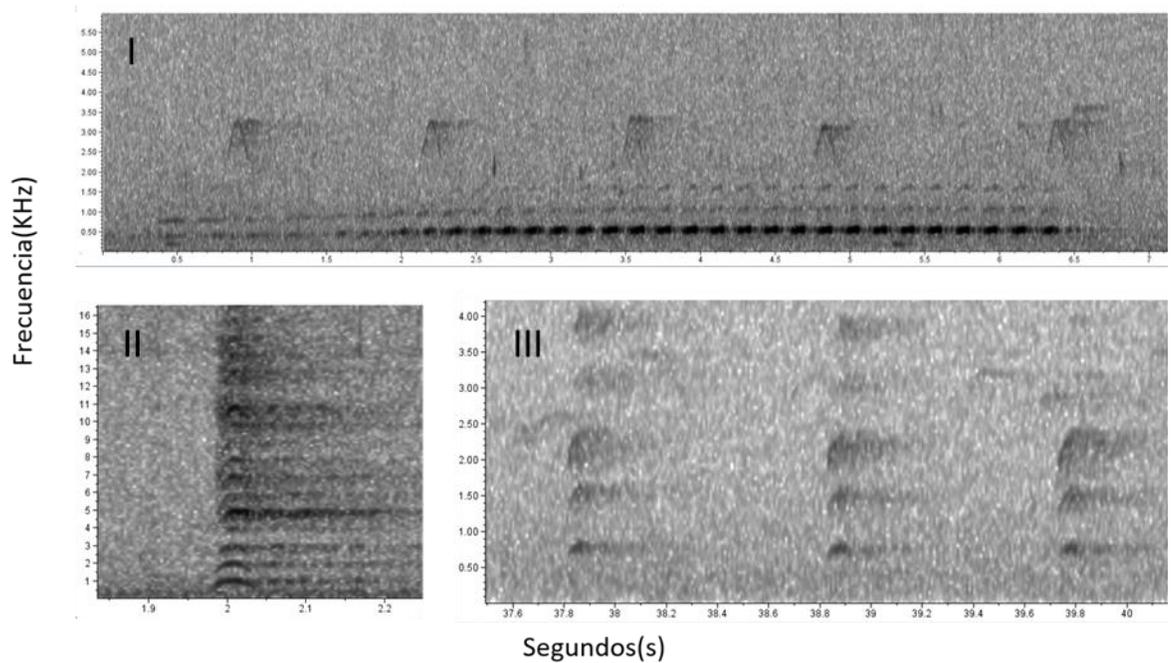


Fig. 10: Sonogramas de las vocalizaciones obtenidas para *P. castaneus*. (I) Vocalización de llamada común “V_HH”, (II) Vocalización de contacto “C2_HH” y (III) Vocalización de contacto “C1_HH”.

Al determinar los rangos vocales de las vocalizaciones de esta especie para los distintos tipos de hábitat del estudio (Tabla 5) se registró para la vocalización de llamada común “I” (Fig. 11 A) un periodo de actividad vocal compartido entre los tres tipos de hábitat que comprende desde las 7:30 a 11:30, con otros picos aislados durante el día. Para esta vocalización, el Bosque presentó el mayor número de grabaciones (618), seguidos por la Plantación (158) y por último la Quebrada (155).

Para la vocalización de contacto “II” (Fig. 11 B) se registraron dos periodos de actividad vocal. El primero entre las 7:00 y las 12:00 en el Bosque y la Quebrada, con un mayor número de grabaciones en el Bosque. En relación a la Plantación observamos un bajo número de grabaciones con picos aislados dentro del periodo. El segundo periodo de actividad vocal se registró entre las 19:00 y las 20:30 compartido entre los hábitats. Por último, para el contacto “III” no se realizó el análisis debido al bajo número de grabaciones (17 en Bosque, 4 en Plantación y 7 en Quebrada) para cada hábitat.

En relacion a los rangos de actividad vocal total, esta especie presentó el mayor rango en la Quebrada y el Bosque con 13 horas y 15 min, variando en los intervalos de tiempo de las 7:15 a las 20:30 en la Quebrada y de las 7:30 a las 20:45 en el Bosque y por último la Plantación con un rango de 13 horas (7:15 - 20:15).

Tabla 5: Rango de horarios de la actividad vocal registradas en los tres hábitats del estudio para *P. castaneus*.

Vocalización	Bosque	Plantación	Quebrada
V_HH	7:30 / 19:15	7:15 / 20:15	7:15 / 17:00
C2_HH	8:00 / 19:15	9:30 / 18:00	9:00 / 20:00

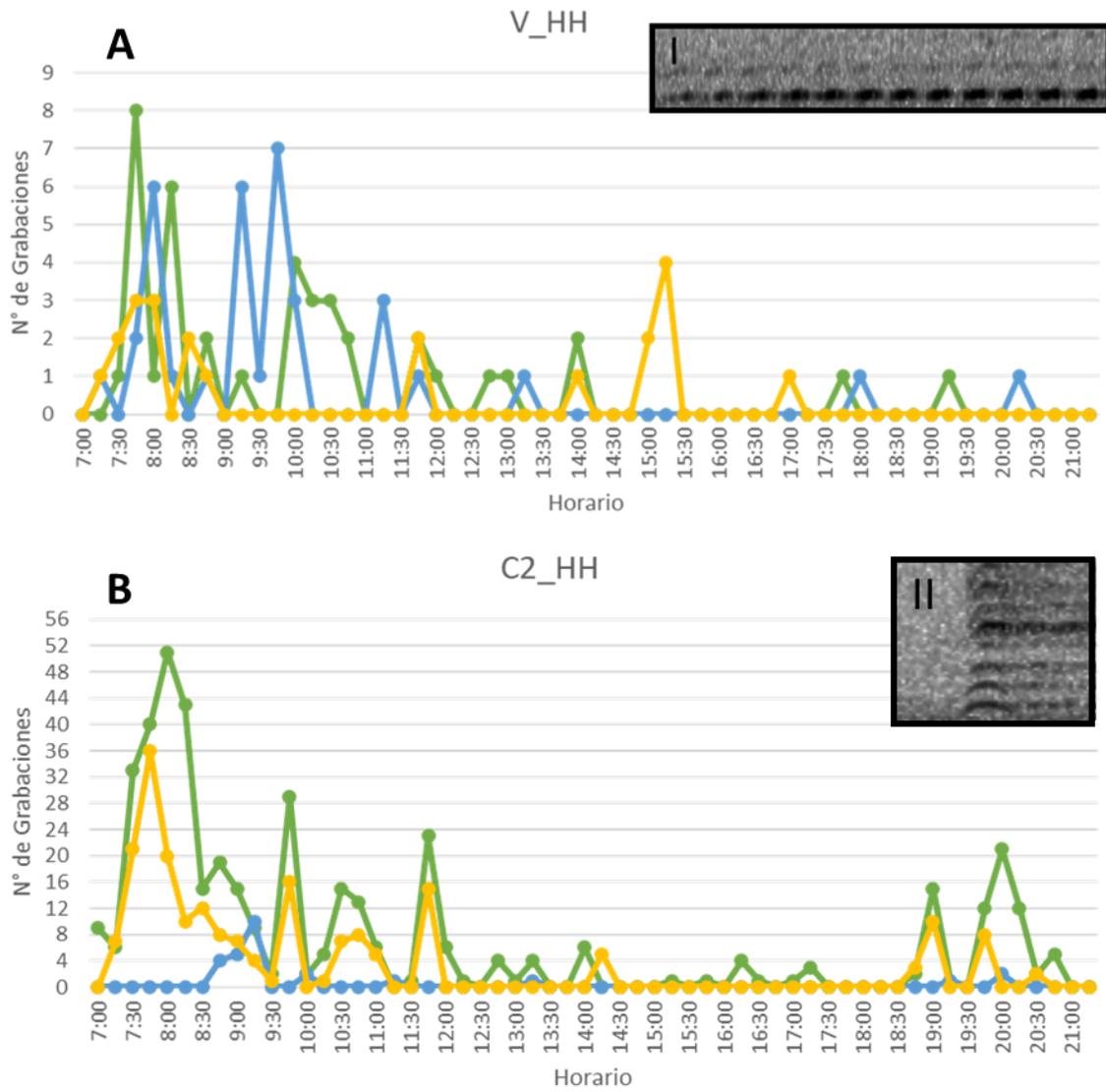


Fig. 11: Rango de actividad vocal total de la vocalización de llamada (“A: V_HH”) y de contacto (“B: C2_HH”) de *P. castaneus*. La imagen superior derecha muestra el sonograma de la vocalización de llamada.

Discusión

Los resultados entregados corroboran el amplio espectro de vocalizaciones que presentan las especies de la familia Rhinocryptidae, a pesar de ser catalogadas como aves suboscinas con un componente más innato y poco variante en sus vocalizaciones (Araya-Salas 2010). El espectro de vocalizaciones, así como la actividad vocal y número de vocalizaciones registradas varió entre los tipos de ambientes, donde se evidenció un mayor número de vocalizaciones en el Bosque, seguido de la Quebrada. Este resultado entrega evidencia que sustenta que estas especies sean catalogadas como bioindicadoras del grado de naturalidad del bosque y de ambientes prístinos (Sarasola et al. 1999). En el presente estudio, en el hábitat de Bosque y Quebrada existió mayor presencia de matorrales, los cuales han sido registrados como el hábitat preferente para estas especies (Martínez-Piña & González-Cifuentes 2017; Jaramillo et al. 2014; Altamirano et al. 2012; Medrano et al. 2018; Martínez-Piña & González-Cifuentes 2017; Vidoz & Areta 2013).

Como observamos en nuestros resultados, existen diferencias en el número de vocalizaciones (repertorio vocal) y también en los rangos de actividad vocal. Una respuesta para lo anterior radica en la fisiología / costos energéticos que poseen las aves y el factor ambiental.

Si bien la emisión y vocalizaciones es natural en las aves, estas no son capaces de mantenerlas por largos periodos de tiempo (Crespo & Pérez 2015; Dominoni et al. 2013; Gaston et al. 2013). Con lo anterior y que en lugares que son más

cubiertos o con mayor cobertura vegetal se favorece la comunicación a largas distancias (Mullet et al. 2017) es que la fisiología y el ambiente podrían ser los factores que podrían estar explicando el aumento en de los rangos de actividad vocal.

Por otra parte, el registro de la actividad vocal es útil para estimar la abundancia relativa de aves, a través de un índice de actividad vocal (número de vocalizaciones por minuto para la especie objetivo, Oppel et al. 2014) (Pérez-Granados et al 2019). Aunque este estudio no evaluó abundancias de las aves analizadas utilizando este método, presenta antecedentes que podrían ser útiles para futuros estudios.

Para las especies de la familia Rhinocryptidae se ha registrado la vulnerabilidad de estas a la disminución y pérdida de hábitat (Carvajal León 2017; Vergara et al. 2014; Soto-Mora & Urrutia 2010) debido a que no presentan una capacidad de dispersión efectiva en relación a sus desplazamientos debido a la poca capacidad de vuelo (< 50m) (Rozzi et al. 1996) genera como consecuencia un ámbito de hogar más restringido.

Lo anterior podría generar como consecuencia un incremento en la competencia por el uso de hábitat, como por ejemplo en la etapa reproductiva, donde se ha registrado un aumento de las interacciones intra e interespecíficas debido a la disminución de la distancia entre los nidos activos (Correa & Figueroa 2003) favoreciendo así la presencia de las especies con mayor repertorio vocal en los hábitats de preferencia, como es en el caso de *S. rubecula* para este estudio.

Con lo anterior se puede deducir una competencia clara por los hábitats de preferencia, donde la especie que presente mayor repertorio vocal será un mejor competidor como es el caso de *S. rubecula* y es por esto que *S. magellanicus* no presentaría un número elevado de vocalizaciones en el Bosque, pero si en la Quebrada, donde el repertorio vocal de *S. rubecula* es menor, debido a la disminución de la competencia.

Determinamos que *E. paradoxa* presenta un número de grabaciones (archivos de audio obtenidos) incluso mayores que *S. rubecula* y de las demás especies en todos los ambientes. Esto se podría explicar desde el punto de vista de la defensa territorial en dueto que ha sido registrado para *E. paradoxa* (Calderon-Quiroga 2020), y que ocurre cuando ingresa otra especie u otro individuo de la especie. En las grabaciones se registró la interacción de estas dos especies a través de dueto o en solitario. Esta defensa territorial cooperativa es un método favorable para evitar la pérdida de parte o la totalidad del terreno o evitar la pérdida de uno de los miembros de la pareja (Hall 2004; Hall 2000). Esto entonces podría explicar el aumento en el número de grabaciones de *E. paradoxa*, ya que ante una posible interacción entre ambas especies sería la competencia de dos contra uno (escuchándose más *E. paradoxa*). Por otro lado, las vocalizaciones de contacto de *E. paradoxa* tienen un parecido en forma y tonalidad muy cercano a las de *S. fuscus* con lo que en base a esto también puede ser un factor determinante para obtener menos registros vocales para esta especie debido a que se podrían haber confundido.

Otro factor distinto al ambiental y que influye en las vocalizaciones es la morfología, específicamente la siringe. Como bien es sabido la siringe es el órgano fonético de las aves responsable de la generación de las conocidas vocalizaciones (Cano 2010; Sitt 2009; Raposo et al. 2006) donde la complejidad de los músculos que presenta da como resultado la variación de las vocalizaciones (Sitt 2009).

De lo anterior se puede deducir que una siringe de mayor tamaño favorecería la generación de vocalizaciones distintas. Con esto es lógico pensar que las aves que poseen un tamaño corporal mayor presentaran una siringe más grande, para lo anterior se han registrado efectivamente que el tamaño corporal influye en el comportamiento y repertorio vocal, como también en las vocalizaciones, ya que si el tamaño del ave es más grande esta poseerá una siringe de mayor tamaño produciendo vocalizaciones de frecuencias más bajas (Arévalo 2019; Marler & Slabbekoorn 2004) o aumentando y disminuyendo su repertorio vocal (Arch-Tirado et al. 2004). Esto demostraría de cierta forma que *P. castaneus* presente la vocalización de llamada común con las frecuencias más bajas entre las especies del estudio, y que *S. rubecula* el repertorio vocal más amplio ya que ambas son las especies que presentan el mayor tamaño corporal (Soto-Mora & Urrutia 2010). Solo existe información que relaciona la morfología con las vocalizaciones de los rinocriptidos para el género *Scytalopus*, donde se determinó que la variación de los valores de frecuencia de las vocalizaciones era debido al tamaño corporal como también a los factores del hábitat (Melo & Vega

2020). Un estudio que considere ambos factores (morfológicos y ambientales) resolverían las variadas incógnitas respecto a este tema.

Este estudio logro generar y entregar información detallada para especies catalogadas como suboscinas que por su componente innato en sus vocalizaciones son menos estudiadas. Se pudo caracterizar parte del repertorio vocal para cuatro especies. *S. magellanicus* presentó un solo tipo de vocalización, por lo que recomendamos la realización de un estudio a largo plazo para estimar la totalidad de repertorios. Se presentaron los sonogramas de las vocalizaciones obtenidas que pueden ser útiles para la identificación de las especies y complementan la información existente hasta el momento que utiliza onomatopeyas (Martínez-Piña & González-Cifuentes 2017; Jaramillo et al. 2014; Altamirano et al. 2012). Se evidenciaron modificaciones de las vocalizaciones a nivel de estructura para las vocalizaciones de llamada de *S. rubecula* y *E. paradoxa*, además de los rangos de actividad vocal entre los diferentes hábitats estudiados, los cuales sirven para mejorar los diseños de muestreo en diferentes tipos de hábitat considerando los picos de horario que pueden presentar estas especies y las aves en general.

Lo anterior corrobora el grado de utilidad de los monitoreos acústicos pasivos y determinaciones de abundancia derivados de los mismos para aves o fauna en general que son catalogadas como más escuchadas que vistas como es el caso de la familia Rhinocryptidae (Martínez-Piña et al. 2017), se pueden estudiar de forma óptima y menos invasiva. Por otro lado, recalcar la importancia de realizar

estudios que consideren si las posibles variaciones en las vocalizaciones son por efectos del ambiente (hipótesis de adaptación acústica), por el factor morfológico (hipótesis de adaptación morfológica) u otros factores para las especies suboscinas que habitan Chile y las aves en general.

Por último, con nuestros datos podemos afirmar que la protección de los lugares donde habitan estas especies es de vital importancia, ya que como mencionamos, estos lugares (Bosque y Quebrada) son los que albergan la mayor diversidad de aves, y las aves en estos lugares también presentan un mayor repertorio vocal permitiéndoles así desarrollar actividades de reproducción (Altamirano et al. 2012), con lo que la pérdida y/o desaparición de estos podrían generar efectos drásticamente negativos como extinciones locales (Vergara & Simonetti 2003).

Conclusiones Generales

A lo largo de estos dos capítulos logramos determinar la existencia de variaciones en los valores de frecuencia en un inicio considerando el factor ambiental como una parte relevante de estas diferencias luego de estimar las variables ambientales y compararlas determinamos que no todas las especies presentaban variaciones como estaba predicho en la AAH, con esto mostramos un apoyo parcial de dos de las cinco especies del estudio (*S. rubecula* y *P. castaneus*), así determinamos que el factor ambiental si bien genera variaciones no es el único factor que está influyendo en estas variaciones.

Determinamos que la presencia de apoyos completos, parciales y directamente no apoyo a las predicciones de la AAH, estos son netamente por problemas en la catalogación de dichos “hábitats distintos” y enfoques metodológicos con lo que la incorporación de metodologías avanzadas a escala más fina generara que se puedan determinar de forma correcta estas variaciones. Por otro lado, también determinamos variaciones estructurales en las vocalizaciones de dos especies el estudio que si bien son aves suboscinas estos cambios son notorios y relevantes de destacar.

Concluimos que el factor morfológico es relevante tanto por la producción de nuevas vocalizaciones aumentando y disminuyendo los repertorios (como observamos en el capítulo II) incluso estaría afectado a los rangos de actividad junto a los aspectos reproductivos de estas aves debido a los costos energéticos

que demanda la reproducción que no se pueden sobreponer con las vocalizaciones.

Considerar también como factor el aprendizaje de las vocalizaciones de estas aves catalogadas como aves suboscinas y que son igual de relevantes que las aves oscinas ya que los cambios si bien no son en complejidad los aumentos de frecuencia de toda la vocalización como lo observamos en la plantación para el caso de *S. rubecula* podría ser un cambio muy complejo y sustancial para esta especie que por los gastos energéticos que demanda estas vocalizaciones y la parte reproductiva un cambio en el hábitat podría determinar la reproducción del individuo o no

Con lo anterior junto a otras características de las especies de esta familia queda en evidencia porque son catalogadas como bioindicadores de naturalidad del hábitat en que están presentes, dado que en estos ambientes (Bosque y Quebrada) se presentó mayor actividad por ende podemos deducir que hay una mayor presencia de estas aves con lo que la no protección de estos hábitats podría conllevar una directa extinción local de estas especies.

Por último queda clara la importancia de realizar estudios que tomen en cuenta un periodo de tiempo más amplio y que consideren si las posibles variaciones en las vocalizaciones son por efectos del ambiente (hipótesis de adaptación acústica), por el factor morfológico (hipótesis de adaptación morfológica), por factores reproductivos u otros factores (temperatura, humedad, factor cultural) para las especies suboscinas que habitan Chile y las aves en general.

Literatura Citada:

1. Altamirano, T. A., Ibarra, J. T., Hernández, F., Rojas, I., Laker, J., & Bonacic, C. (2012). *Hábitos de nidificación de las aves del bosque templado andino de Chile*. Tomás Altamirano.
2. Andrew, R. J. 1961. The displays given by passerines in courtship and reproductive fighting: a review. *Ibis* 103(4):549-579.
3. Araya-Salas. M. 2010. Variación microgeográfica y evolución cultural del canto de *Microcerculus philomela* (Aves: Troglodytidae) (Doctoral dissertation,

Tesis de Licenciatura en Biología, Universidad de Costa Rica. San José, Costa Rica). 29 pp.

4. Arévalo Camargo, J. D. (2019). Variación morfológica y del canto en poblaciones de *Zonotrichia capensis* (aves: Emberizidae) de ambientes urbanos y silvestres en Chile Central.
5. Arch-Tirado E, Collado-Corona MA, Morales-Martínez JJ. Communication and auditory behavior obtained by auditory evoked potentials in mammals, birds, amphibians, and reptiles. *Cir Cir.* 2004;72(4):309-315.
6. Barceló, M., & Simonetti, J. A. (2017). Observaciones sobre un nido de Hued-Hued castaño (*Pterotochos castaneus*, Rhinocryptidae): Comportamiento parental e intentos de depredación. *Ornitología Neotropical*, 28, 113-117.
7. Boncoraglio, G., & Saino, N. (2007). Habitat structure and the evolution of bird song: a meta-analysis of the evidence for the acoustic adaptation hypothesis. *Functional Ecology*, 21(1), 134-142.
8. Cano, F. G. (2010). Anatomía específica de aves: aspectos funcionales y clínicos. Facultad de veterinaria, Universidad de Murcia, [En línea]. Available: <https://www.um.es/anatvet/interactividad/aaves/anatomia-aves-10.pdf>.
9. Calderón Quiroga, S. A. (2020). Defensa territorial cooperativa y conducta de duetos en *Eugralla paradoxa* (Passeriformes: rhinocryptidae) en la Región del Bío-Bío
10. Correa, A., Armesto, J. J., Schlatter, R. P., Rozzi, R., & Torres-Mura, J. C. (1990). La dieta del chucao (*Scelorchilus rubecula*), un Passeriforme terrícola endémico del bosque templado húmedo de Sudamérica austral. *Revista Chilena de Historia Natural*, 63(2), 197-202.
11. Clements, J. F., Schulenberg, T. S., Iliff, M. J., Billerman, S. M., Fredericks, T. A., Sullivan, B. L., & Wood, C. L. (2019). The eBird/Clements Checklist of Birds of the World: v2019. Downloaded from <https://www.birds.cornell.edu/clementschecklist/download/>
12. Del Hoyo, Elliot A & D Christie (2003) Broadbills to tapaculos. In: Handbook of the birds of the world: Lynx Edicions. Barcelona, Spain. 8
13. Dominoni, D.; Quetting, M.; Partecke, J. (2013). Artificial light at night advances avian reproductive physiology, *Proceedings of the Royal Society B*, 280: 20123017. DOI: 10.1098/rspb.2012.3017 Consulta: [21/04/2015]

14. Ey, E., & Fischer, J. (2009). The “acoustic adaptation hypothesis”—a review of the evidence from birds, anurans and mammals. *Bioacoustics*, 19(1-2), 21-48.
15. Gaston, K.; Bennie, J.; Davies, T.; Hopkins, J. (2013). The ecological impacts of nighttime light pollution: a mechanistic appraisal, *biological reviews*, 88:912-927. DOI: 10.1111/brv.12036 [consulta: 17/04/2015]
16. Hardt, B., & Benedict, L. (2021). Can you hear me now? A review of signal transmission and experimental evidence for the acoustic adaptation hypothesis. *Bioacoustics*, 30(6), 716-742.
17. IUCN. 2021. The IUCN Red List of Threatened Species. Version 2021-3. <https://www.iucnredlist.org>. Accessed on [3 01 2022].
18. Jaramillo, Á., Burke, P., & Beadle, D. (2014). *Aves de Chile*. Lynx Ediciones, Barcelona.
19. Johnson AW (1967) The birds of Chile and adjacent regions of Argentina, Bolivia and Peru. Volume 11. Platt, Establecimientos Gráficos, Buenos Aires.
20. König, C., Weick, F. 2008. *Owls of the world*. Second edition. Yale University Press. New Haven.
21. Liu, Y., Chen, G., Huang, Q., Jia, C., Carey, G., Leader, P., ... & Alström, P. (2016). Species delimitation of the white-tailed rubythroat *Calliope pectoralis* complex (Aves, Muscicapidae) using an integrative taxonomic approach. *Journal of Avian Biology*, 47(6), 899-910.
22. Madroño, A. L. B. E. R. T. O. (2016). Las vocalizaciones de las aves como herramienta de documentación del conocimiento tradicional indígena Aché en el bosque atlántico de Paraguay. *Revista Chilena de Ornitología*, 22(1), 89-106.
23. Martínez-Piña, D. E., & González-Cifuentes, G. E. (2017). *Las Aves de Chile: Guía de Campo y Breve Historia Natural*. Ediciones del Naturalista. Santiago, Chile.
24. Medrano F, Barros R, Norambuena H V, Matus R y Schmitt F. 2018. Atlas de las aves nidificantes de Chile. Red de Observadores de Aves y Vida Silvestre de Chile. Santiago, Chile

25. Melo Velásquez, D. P., & Vega Araque, N. D. (2020). Efecto del hábitat y el tamaño corporal en la variación del canto de las especies del género *Scytalopus* (Rhinocryptidae). (Tesis de pregrado). Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Colombia.
26. Mendes, S., Colino-Rabanal, V. J., & Peris, S. J. (2017). Adaptación acústica del canto de *Turdus leucomelas* (Passeriformes: Turdidae) a diferentes niveles de ruido antrópico, en el área metropolitana de Belém, Pará, Brasil. *Revista de Biología Tropical*, 65(2), 633-642.
27. Mullet, T. C., Farina, A., & Gage, S. H. (2017). The acoustic habitat hypothesis: An ecoacoustics perspective on species habitat selection. *Biosemiotics*, 10(3), 319-336.
28. Norambuena, H. V., & Victoriano, P. F. (2020). Variación individual e indicios de variación geográfica en el canto territorial del chucao (*Scelorchilus rubecula*) en el centro-sur de Chile. *Gayana (Concepción)*, 84(1), 16-24.
29. Norambuena, H.V., Muñoz-Pedrerros, A. 2019. Estudios de Bioacustica en aves rapaces de Chile. En Muñoz-Pedrerros, A., Rau-Acuña, J., Valenzuela-Yáñez, J. *Aves Rapaces de Chile: 301-408*. Chile. CEA
30. Opiel, S. , Hervías, S. , Oliveira, N. , Pipa, T. , Silva, C. , Geraldés, P. , Goh, M. , Immler, E. y McKown, M. 2014 . Estimación del tamaño de la población de un ave marina que anida en madrigueras nocturnas mediante el monitoreo acústico y el mapeo del hábitat. *Nat. Conserv.* 7 : 1 - 13 .
31. Pérez-Granados, C., Bota, G., Giralt, D., Barrero, A., Gómez-Catasús, J., Bustillo-De La Rosa, D., & Traba, J. (2019). Vocal activity rate index: a useful method to infer terrestrial bird abundance with acoustic monitoring. *Ibis*, 161(4), 901-907.
32. Raposo, M. A., Höfling, E. L. I. Z. A. B. E. T. H., Gaban-Lima, R. E. N. A. T. O., Stopiglia, R. E. N. A. T. A., & Formozo, P. A. T. R. Í. C. I. A. (2006). Anatomia da siringe dos Dendrocolaptidae (Aves, Passeriformes). *Arquivos do Museu Nacional*, 64(2), 181-191.
33. Rojas, C., de la Barrera, F., Aranguíz, T., Munizaga, J., & Pino, J. (2017). Efectos de la urbanización sobre la conectividad ecológica de paisajes metropolitanos. *Revista Universitaria de Geografía*, 26(2), 155-182.
34. Rozzi, R., M. Martínez, M. Willson & C. Sabag. 1996. Avifauna de los bosques templados de Sudamérica. En: Armesto J.J., C. Villagrán & M.K. Arroyo

(Eds). Ecología de los bosques nativos de Chile. 470 pp. Editorial Universitaria. Universidad de Chile. Primera Edición. Santiago, Chile.

35. Sangster, G. (2018). Integrative taxonomy of birds: the nature and delimitation of species. In *Bird species* (pp. 9-37). Springer, Cham.

36. Sieving, K., M. Willson & T.L. De Santo. 2000. Defining corridor functions for endemic birds in fragmented south-temperate rainforest. *Conservation Biology*, 14: 1120–1132.

37. Sitt, J. D. (2009). *Biomimética vocal* (Doctoral dissertation, Universidad de Buenos Aires. Facultad de Ciencias Exactas y Naturales).

38. Soto-Mora, Y., & Urrutia, J. (2010). Evaluación del estado de conservación de cuatro especies de aves de la familia Rhinocryptidae en un área silvestre protegida en el Sur de Chile. *Acta zoológica mexicana*, 26(2), 401-414.

39. Vergara, P. & J. Simonetti. 2003. Forest fragmentation and rhinocryptid nest predation in central Chile. *Acta Oecologica*, 24: 285–288.

40. Vidoz, F., & Areta, J. I. (2013). Notas sobre historia natural y distribución del Churrín Grande (*Eugralla Paradoxa*) en Argentina.

41. Wang, N., Liang, B., Wang, J., Yeh, C. F., Liu, Y., Liu, Y., ... & Li, S. H. (2016). Incipient speciation with gene flow on a continental island: Species delimitation of the Hainan Hwamei (*Leucodioptron canorum owstoni*, Passeriformes, Aves). *Molecular phylogenetics and evolution*, 102, 62-73.

Anexo Capítulo I

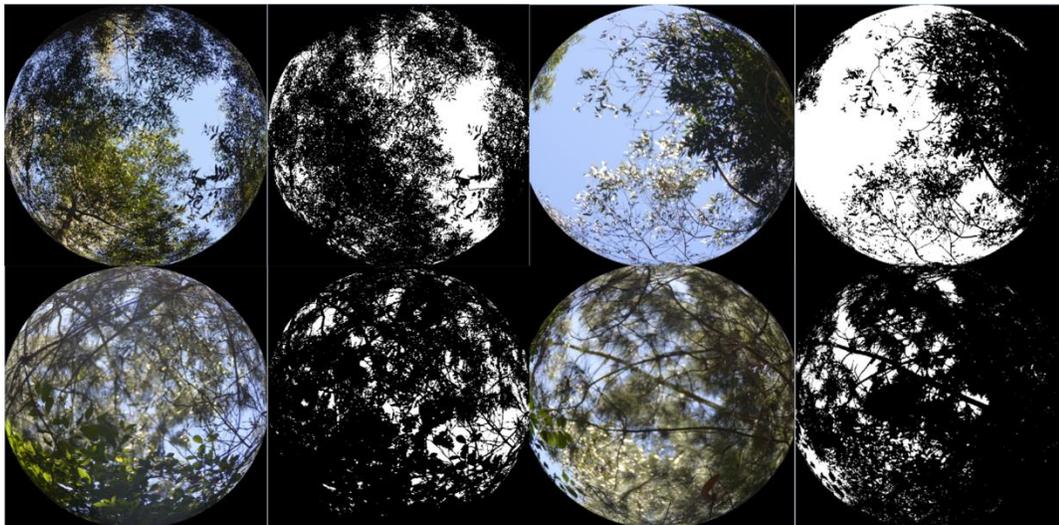


Fig. 1: Ejemplos de las fotografías hemisféricas obtenidas en la Plantación. Izquierda fotografía sin procesar y a la derecha imagen ya procesada

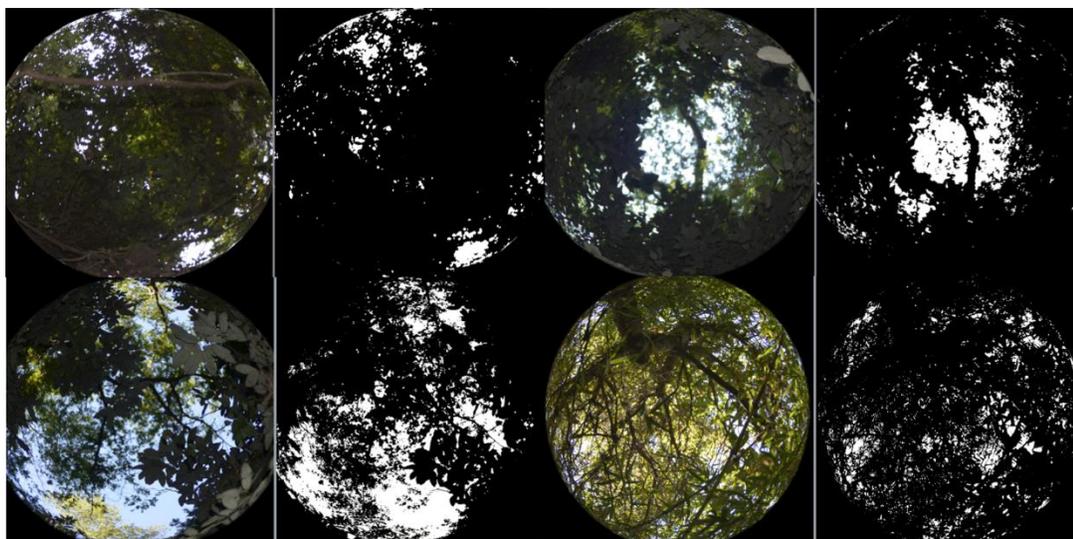


Fig. 2: Ejemplos de las fotografías hemisféricas obtenidas en el Bosque. Izquierda fotografía sin procesar y a la derecha imagen ya procesada

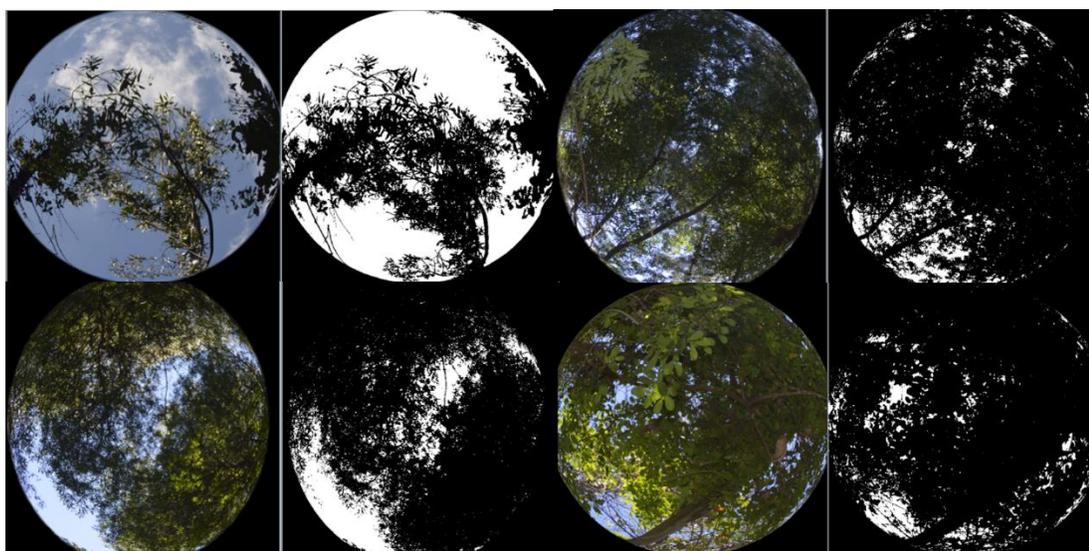


Fig. 3: Ejemplos de las fotografías hemisféricas obtenidas en la Quebrada. Izquierda fotografía sin procesar y a la derecha imagen ya procesada

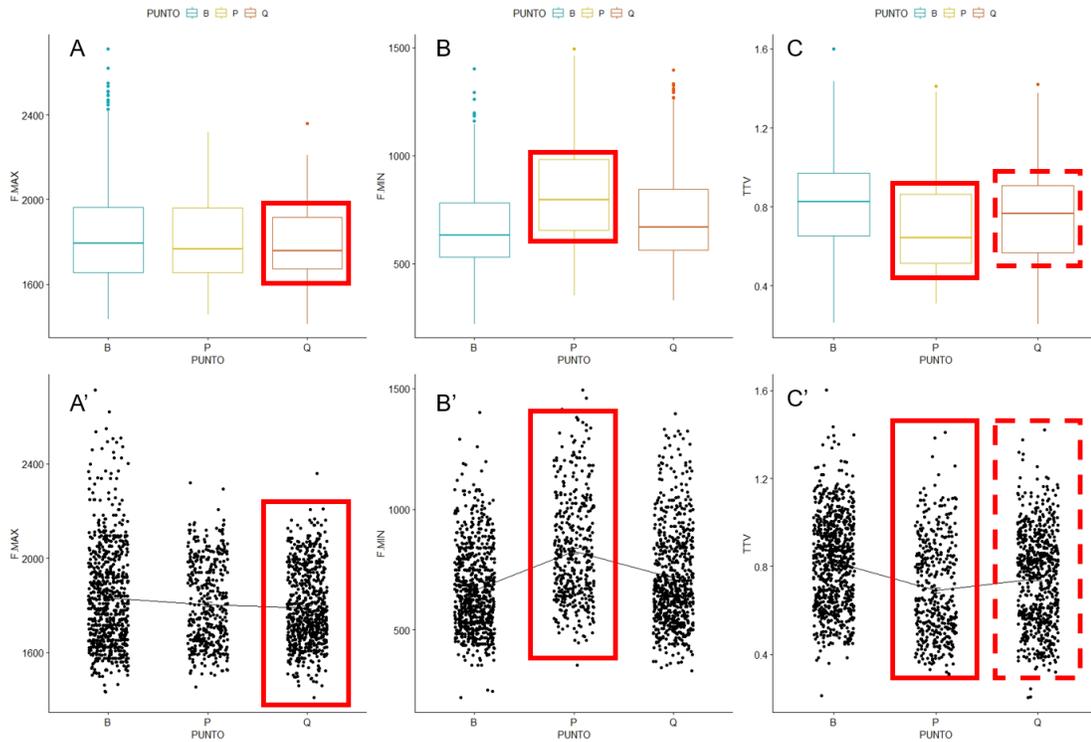


Fig. 4: Boxplots (superior) y Line plots (inferior) obtenidos de las variables que poseen diferencias significativas para la vocalización de llamada (V_CHU) de *S. rubecula*. A-A': F.max de la vocalización; B-B': F.min de la vocalización; C-C': TTV de la vocalización. Resaltado en rojo el Hábitat que posee las diferencias significativas ($p < 0,05$), donde la línea punteada es el hábitat que posee mayores diferencias entregadas por la prueba Kruskal-Wallis y el test post hoc de Wilcoxon.

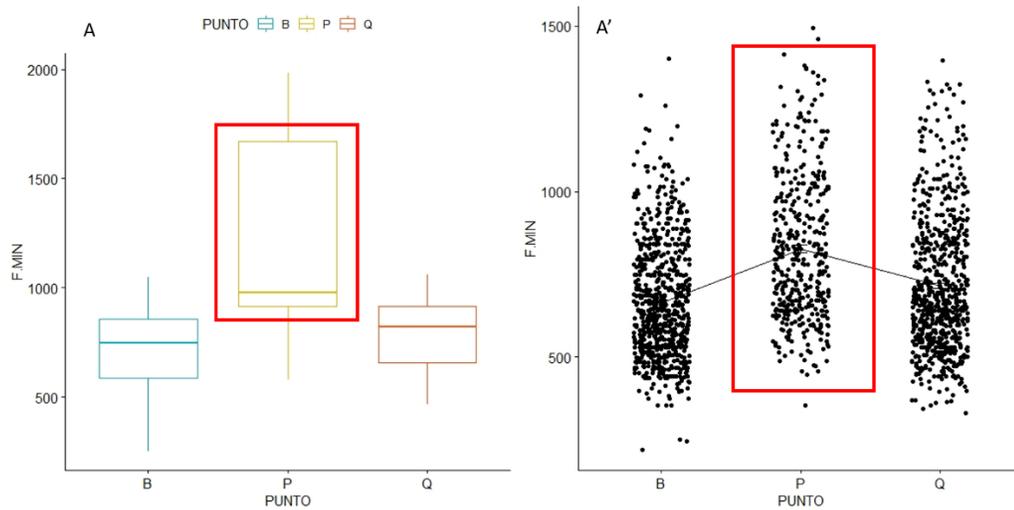


Fig. 5: Boxplots (superior) y Line plots (inferior) obtenidos de las variables que poseen diferencias significativas para la vocalización de contacto (C4_CHU) de *S. rubecula*. A-A': F.min de la vocalización. Resaltado en rojo el Hábitat que posee las diferencias significativas ($p < 0,05$) entregadas por la prueba Kruskal-Wallis y el test post hoc de Wilcoxon.

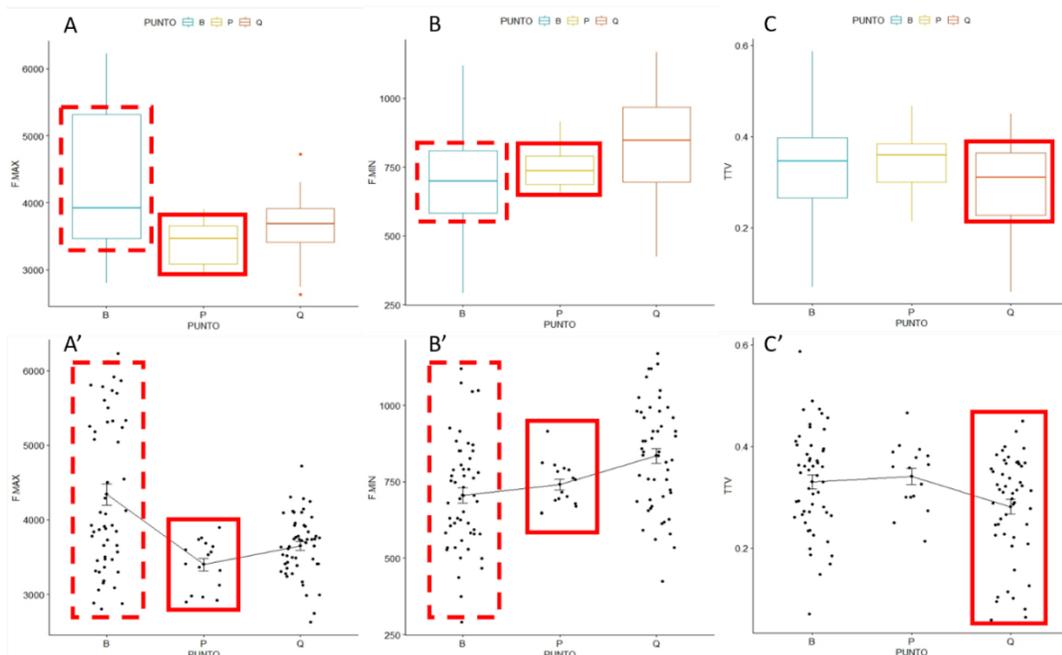


Fig. 6: Boxplots (superior) y Line plots (inferior) obtenidos de las variables que poseen diferencias significativas para la vocalización de contacto (C6_CHU) de *S. rubecula*. A-A': F.max de la vocalización; B-B': F.min de la vocalización; C-C': TTV de la vocalización. Resaltado en rojo el Hábitat que posee las diferencias significativas

($p < 0,05$), donde la línea punteada es el hábitat que posee mayores diferencias entregadas por la prueba Kruskal-Wallis y el test post hoc de Wilcoxon.

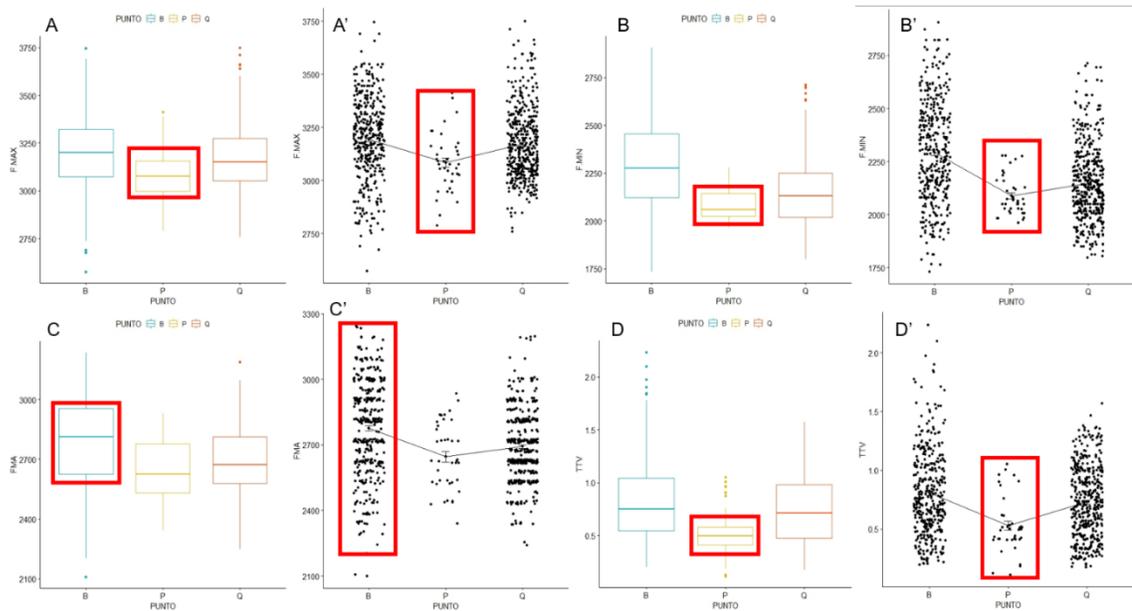


Fig. 7: Boxplots (superior) y Line plots (inferior) obtenidos de las variables que poseen diferencias significativas para la vocalización de llamada (V_CM) de *E. paradoxa*. A-A': F.max de la vocalización; B-B': F.min de la vocalización; C-C': FMA de la vocalización; D-D': TTV de la vocalización. Resaltado en rojo el Hábitat que posee las diferencias significativas ($p < 0,05$) entregadas por la prueba Kruskal-Wallis y el test post hoc de Wilcoxon.

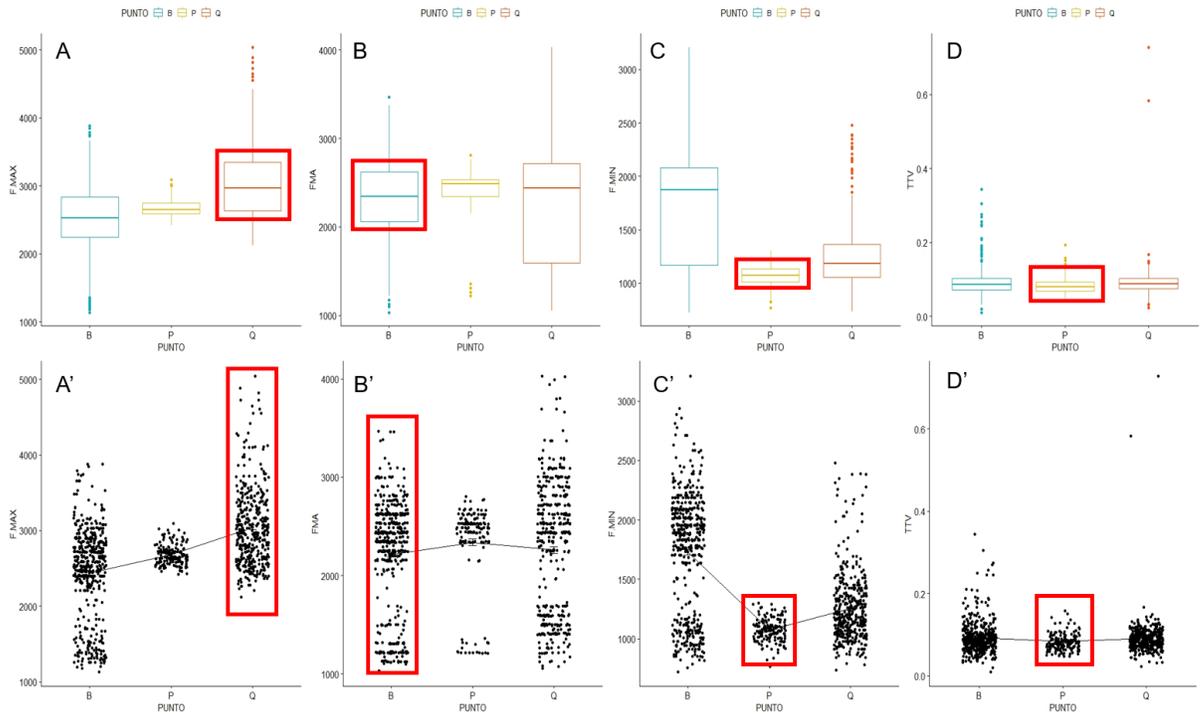


Fig. 8: Boxplots (superior) y Line plots (inferior) obtenidos de las variables que poseen diferencias significativas para la vocalización de contacto (C3_CM) de *E. paradoxa*. A-A': F.max de la vocalización; B-B': FMA de la vocalización; C-C': F.min de la vocalización; D-D': TTV de la vocalización. Resaltado en rojo el Hábitat que posee las diferencias significativas ($p < 0,05$) entregadas por la prueba Kruskal-Wallis y el test post hoc de Wilcoxon.

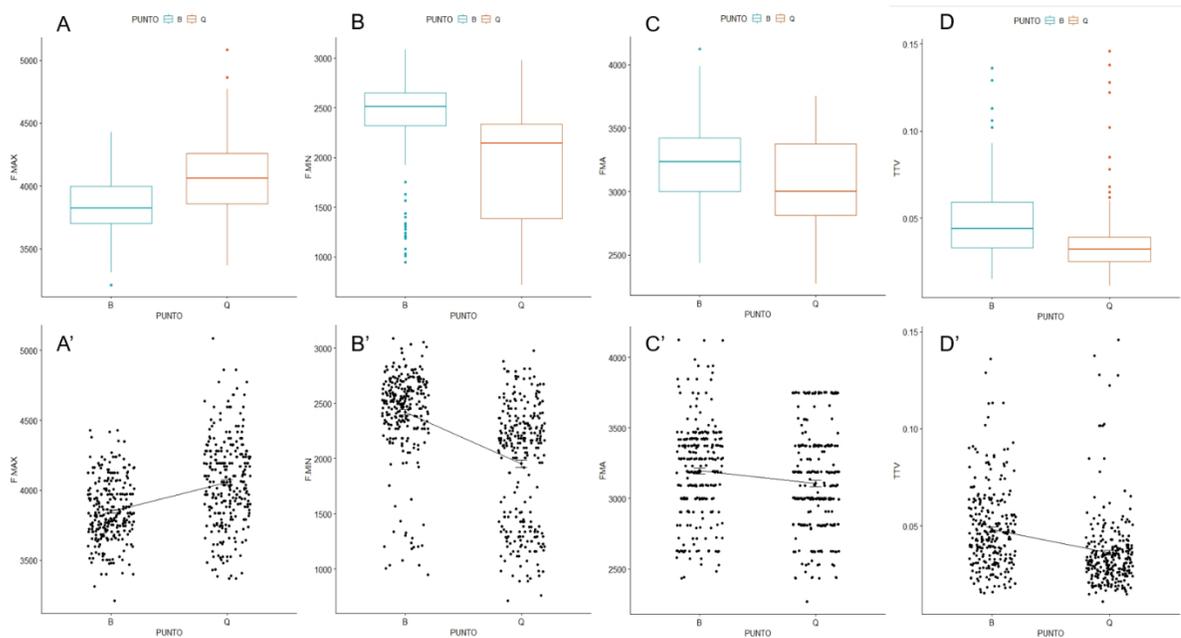


Fig. 9: Boxplots (superior) y Line plots (inferior) obtenidos de las variables que poseen diferencias significativas para la vocalización de contacto (C4_CM) de *E. paradoxa*. A-A': F.max de la vocalización; B-B': F.min de la vocalización; C-C': FMA de la vocalización; D-D': TTV de la vocalización.

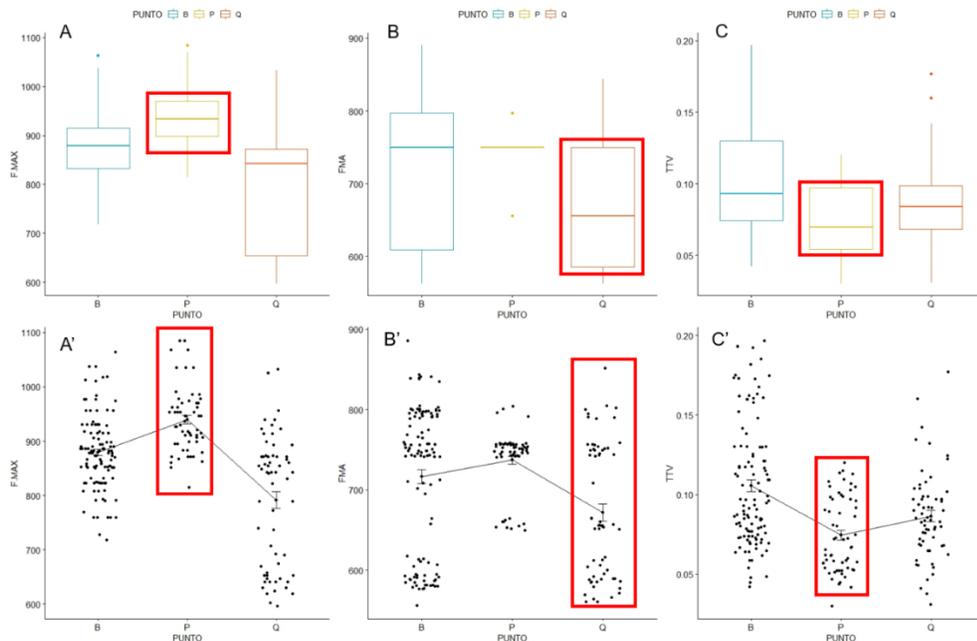


Fig. 10: Boxplots (superior) y Line plots (inferior) obtenidos de las variables que poseen diferencias significativas para la vocalización de contacto (C1_HH) de *P. castaneus*. A-

A': F.max de la vocalización; B-B': FMA de la vocalización; C-C': TTV de la vocalización. Resaltado en rojo el Hábitat que posee las diferencias significativas ($p < 0,05$) entregadas por la prueba Kruskal-Wallis y el test post hoc de Wilcoxon.

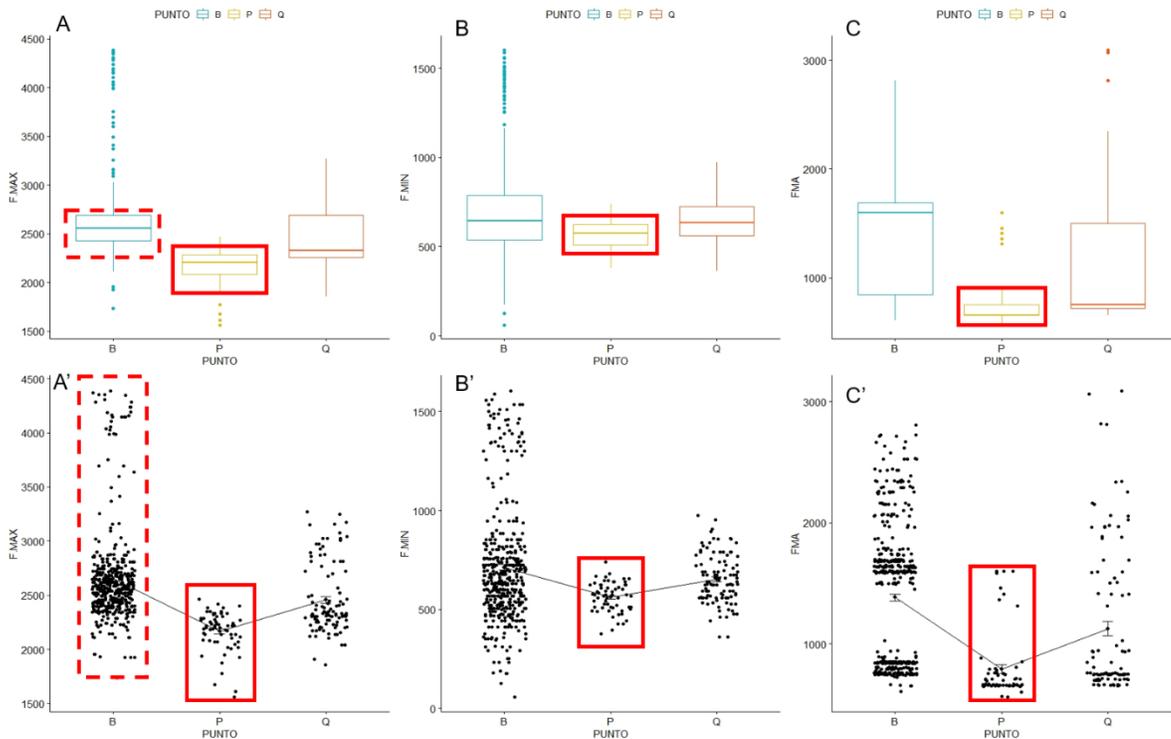


Fig. 11: Boxplots (superior) y Line plots (inferior) obtenidos de las variables que poseen diferencias significativas para la vocalización de contacto (C2_HH) de *P. castaneus*. A-

A': F.max de la vocalización; B-B': F.min de la vocalización; C-C': FMA de la vocalización. Resaltado en rojo el Hábitat que posee las diferencias significativas ($p < 0,05$), donde la línea punteada es el hábitat que posee mayores diferencias entregadas por la prueba Kruskal-Wallis y el test post hoc de Wilcoxon.

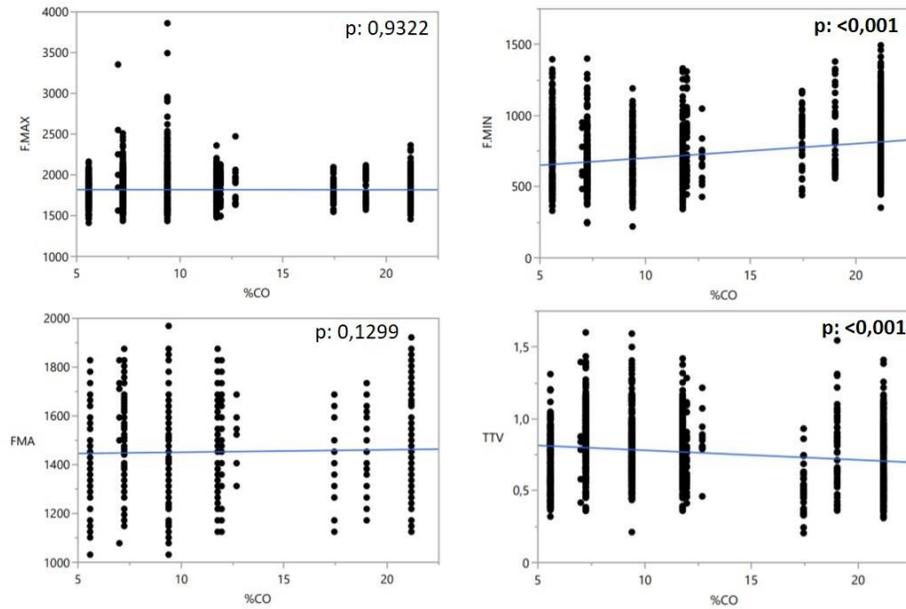


Fig. 12: Gráficos de regresión de los GLM realizados para la vocalización de llamada de *S. rubecula* (V_CHU) y su relación con la apertura del dosel (%CO), para cada una de las variables Frecuencia máxima (F.max) en Hz, Frecuencia mínima (F. min) en Hz, Frecuencia de máxima amplitud (FMA) en Hz y el Tiempo total de la vocalización (TTV) en segundos. Con los valores de p y resultado en **negrita** las relaciones estadísticamente significativas

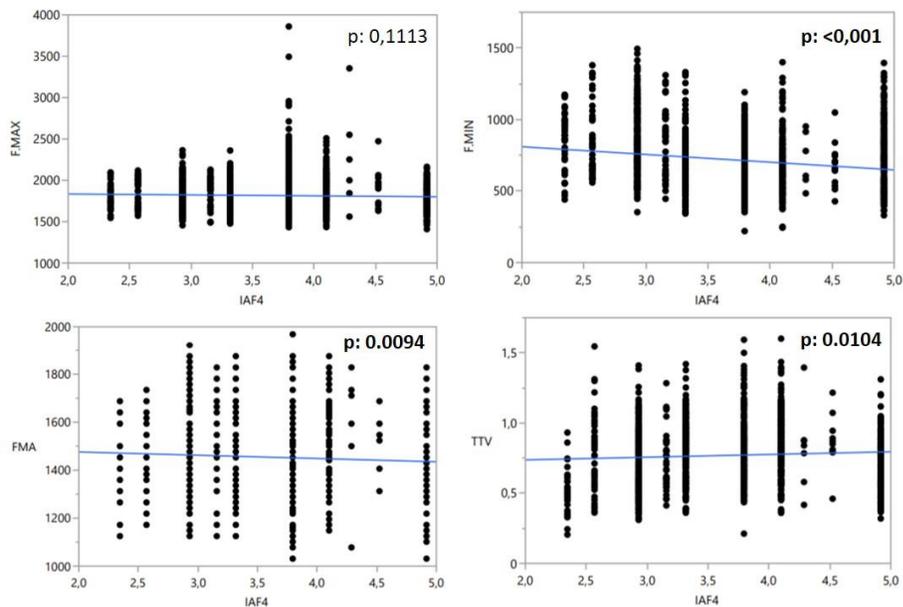


Fig. 13: Gráficos de regresión de los GLM realizados para la vocalización de llamada de *S. rubecula* (V_CHU) y su relación con el Índice de área foliar (IAF), para cada una de las variables Frecuencia máxima (F.max) en Hz, Frecuencia mínima (F. min) en Hz, Frecuencia de máxima amplitud (FMA) en Hz y el Tiempo total de la vocalización (TTV) en segundos. Con los valores de p y resultado en **negrita** las relaciones estadísticamente significativas

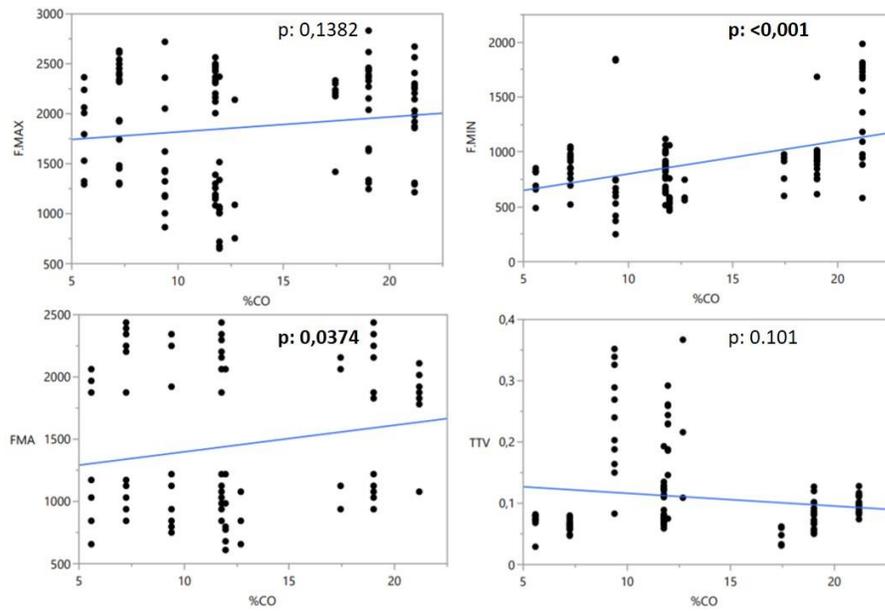


Fig. 14: Gráficos de regresión de los GLM realizados para la vocalización de contacto de *S. rubecula* (C4_CHU) y su relación con la apertura del dosel (%CO), para cada una de las variables Frecuencia máxima (F.max) en Hz, Frecuencia mínima (F. min) en Hz, Frecuencia de máxima amplitud (FMA) en Hz y el Tiempo total de la vocalización (TTV) en segundos. Con los valores de p y resultado en **negrita** las relaciones estadísticamente significativas

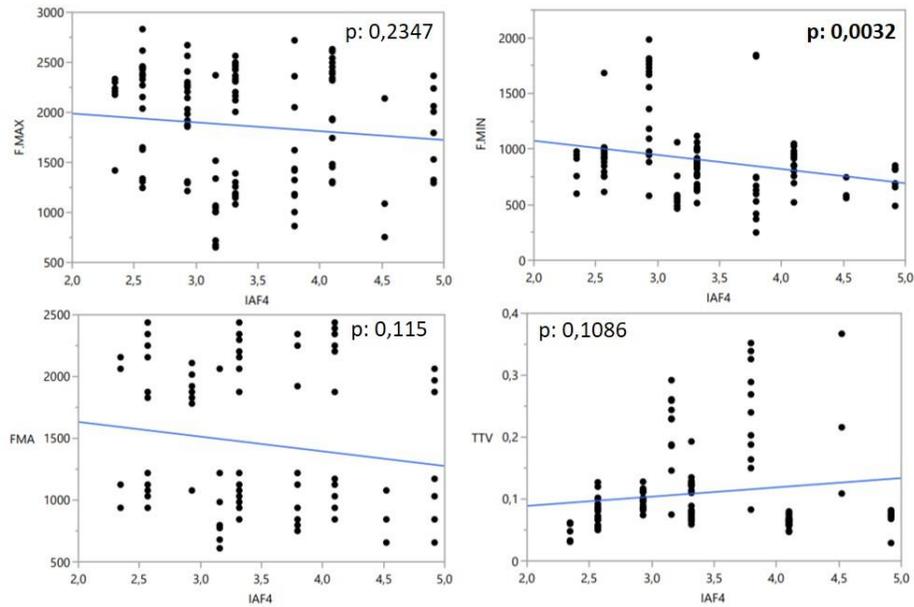


Fig. 15: Gráficos de regresión de los GLM realizados para la vocalización de contacto de *S. rubecula* (C4_CHU) y su relación con el Índice de área foliar (IAF), para cada una de las variables Frecuencia máxima (F.max) en Hz, Frecuencia mínima (F. min) en Hz, Frecuencia de máxima amplitud (FMA) en Hz y el Tiempo total de la vocalización (TTV) en segundos. Con los valores de p y resaltado en **negrita** las relaciones estadísticamente significativas

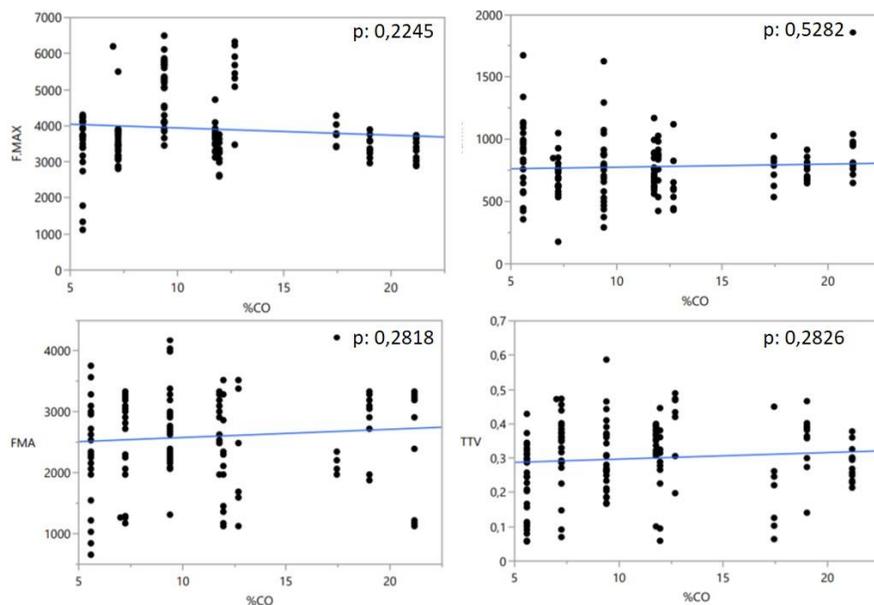


Fig. 16: Gráficos de regresión de los GLM realizados para la vocalización de contacto de *S. rubecula* (C6_CHU) y su relación con la apertura del dosel (%CO), para cada una de las variables Frecuencia máxima (F.max) en Hz, Frecuencia mínima (F. min) en Hz, Frecuencia de máxima amplitud (FMA) en Hz y el Tiempo total de la vocalización (TTV) en segundos. Con los valores de p y resaltado en **negrita** las relaciones estadísticamente significativas

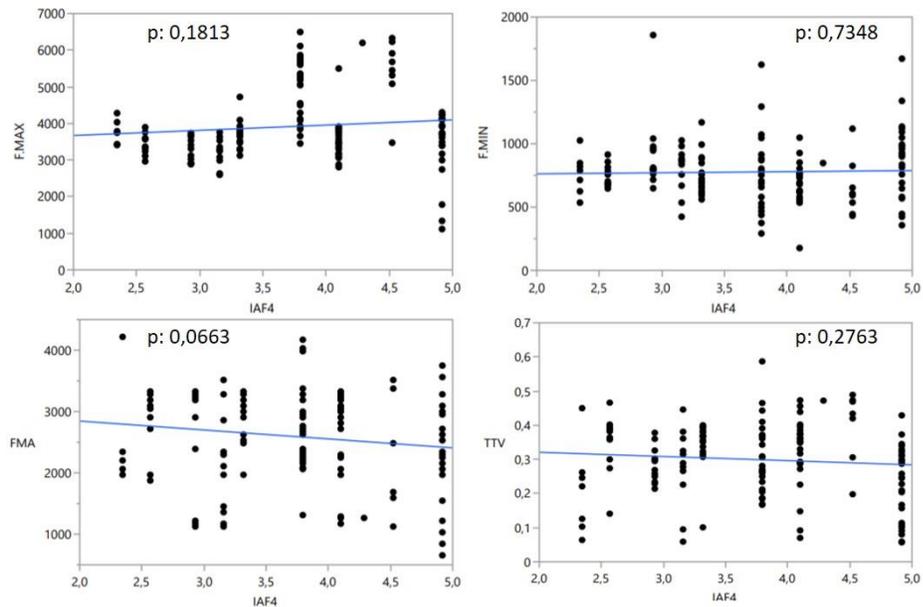


Fig. 17: Gráficos de regresión de los GLM realizados para la vocalización de contacto de *S. rubecula* (C6_CHU) y su relación con el Índice de área foliar (IAF), para cada una de las variables Frecuencia máxima (F.max) en Hz, Frecuencia mínima (F. min) en Hz, Frecuencia de máxima amplitud (FMA) en Hz y el Tiempo total de la vocalización (TTV) en segundos. Con los valores de p y resaltado en **negrita** las relaciones estadísticamente significativas

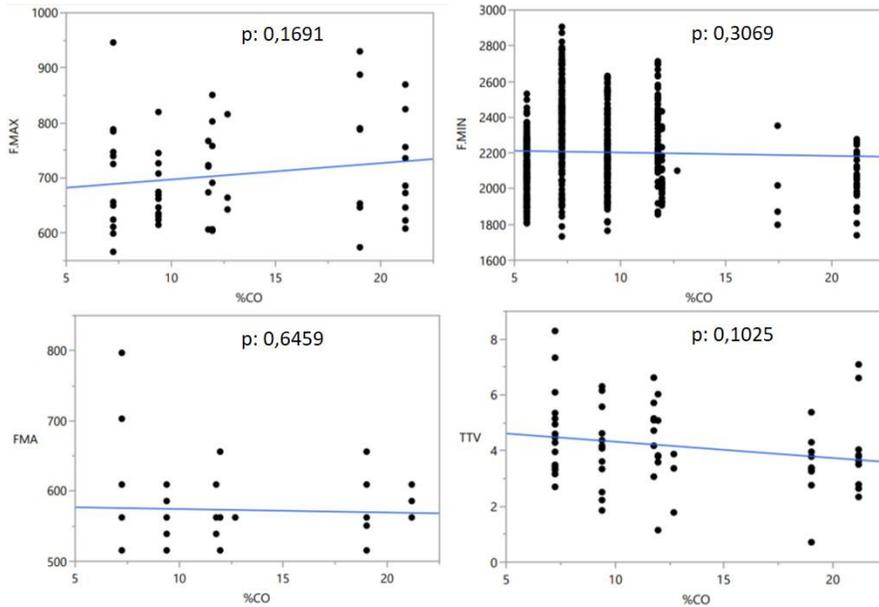


Fig. 18: Gráficos de regresión de los GLM realizados para la vocalización de llamada de *E. paradoxa* (V_CM) y su relación con la apertura del dosel (%CO), para cada una de las variables Frecuencia máxima (F.max) en Hz, Frecuencia mínima (F. min) en Hz, Frecuencia de máxima amplitud (FMA) en Hz y el Tiempo total de la vocalización (TTV) en segundos. Con los valores de p y resaltado en **negrita** las relaciones estadísticamente significativas

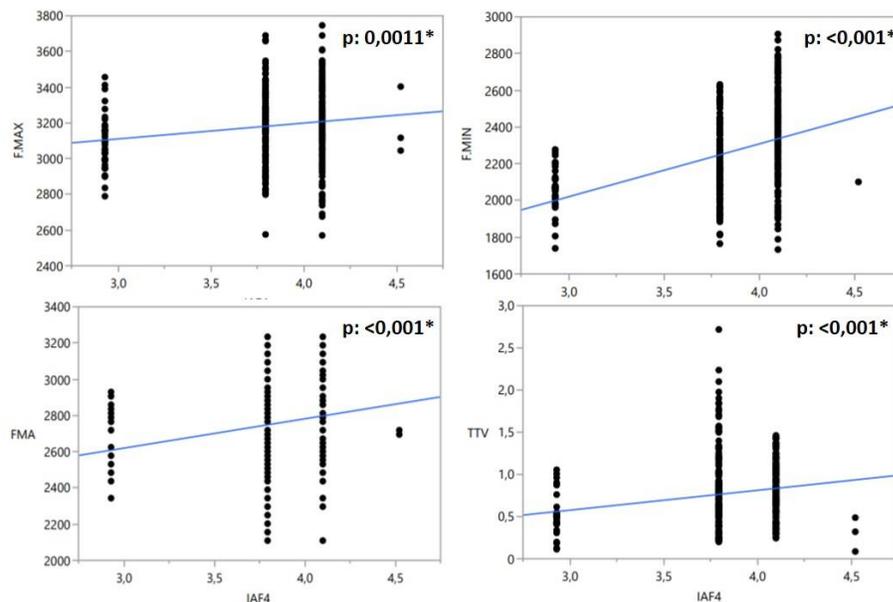


Fig. 19: Gráficos de regresión de los GLM realizados para la vocalización de llamada de *E. paradoxa* (V_CM) y su relación con el Índice de área foliar (IAF), para cada una de las variables Frecuencia máxima (F.max) en Hz, Frecuencia mínima (F. min) en Hz,

Frecuencia de máxima amplitud (FMA) en Hz y el Tiempo total de la vocalización (TTV) en segundos. Con los valores de p y resaltado en **negrita** las relaciones estadísticamente significativas

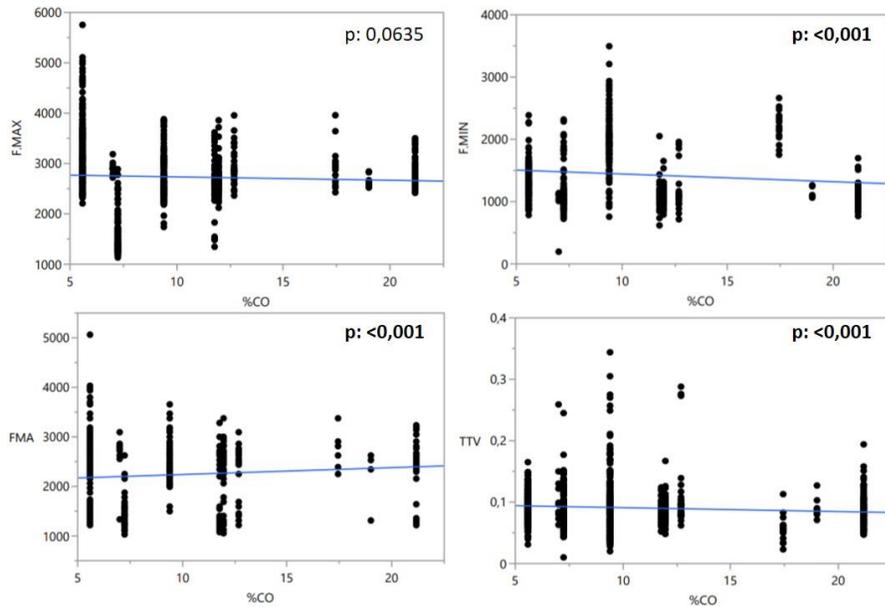


Fig. 20: Gráficos de regresión de los GLM realizados para la vocalización de contacto de *E. paradoxa* (C3_CM) y su relación con la apertura del dosel (%CO), para cada una de las variables Frecuencia máxima (F.max) en Hz, Frecuencia mínima (F. min) en Hz, Frecuencia de máxima amplitud (FMA) en Hz y el Tiempo total de la vocalización (TTV) en segundos. Con los valores de p y resaltado en **negrita** las relaciones estadísticamente significativas

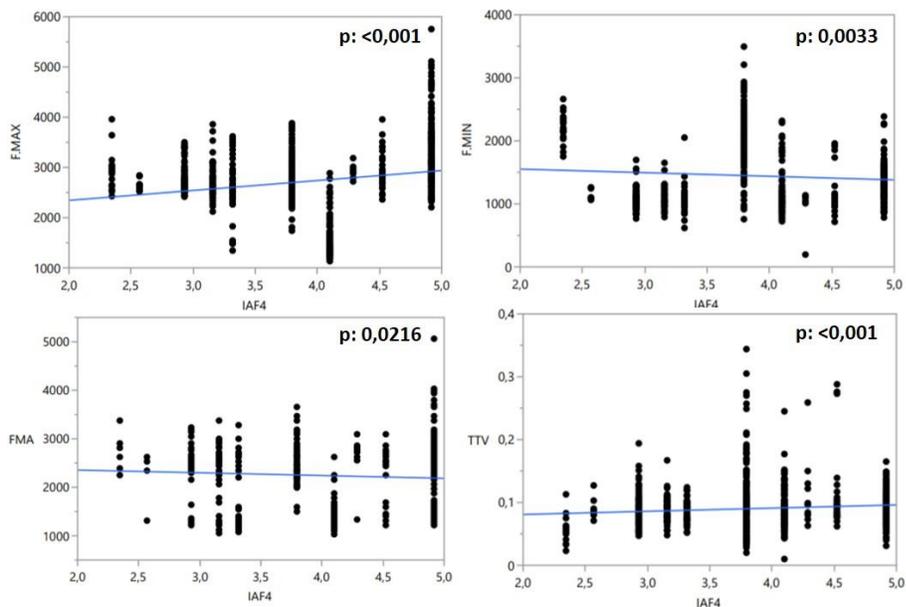


Fig. 21: Gráficos de regresión de los GLM realizados para la vocalización de contacto de *E. paradoxa* (C3_CM) y su relación con el Índice de área foliar (IAF), para cada una de las variables Frecuencia máxima (F.max) en Hz, Frecuencia mínima (F. min) en Hz, Frecuencia de máxima amplitud (FMA) en Hz y el Tiempo total de la vocalización (TTV) en segundos. Con los valores de p y resaltado en negrita las relaciones estadísticamente significativas

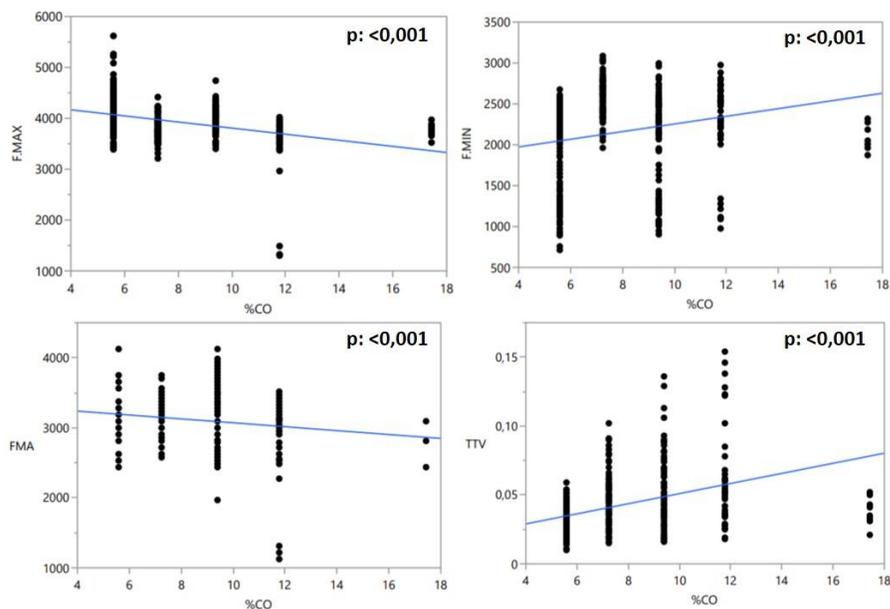


Fig. 22: Gráficos de regresión de los GLM realizados para la vocalización de contacto de *E. paradoxa* (C4_CM) y su relación con la apertura del dosel (%CO), para cada una de las variables Frecuencia máxima (F.max) en Hz, Frecuencia mínima (F. min) en Hz, Frecuencia de máxima amplitud (FMA) en Hz y el Tiempo total de la vocalización (TTV) en segundos. Con los valores de p y resaltado en negrita las relaciones estadísticamente significativas

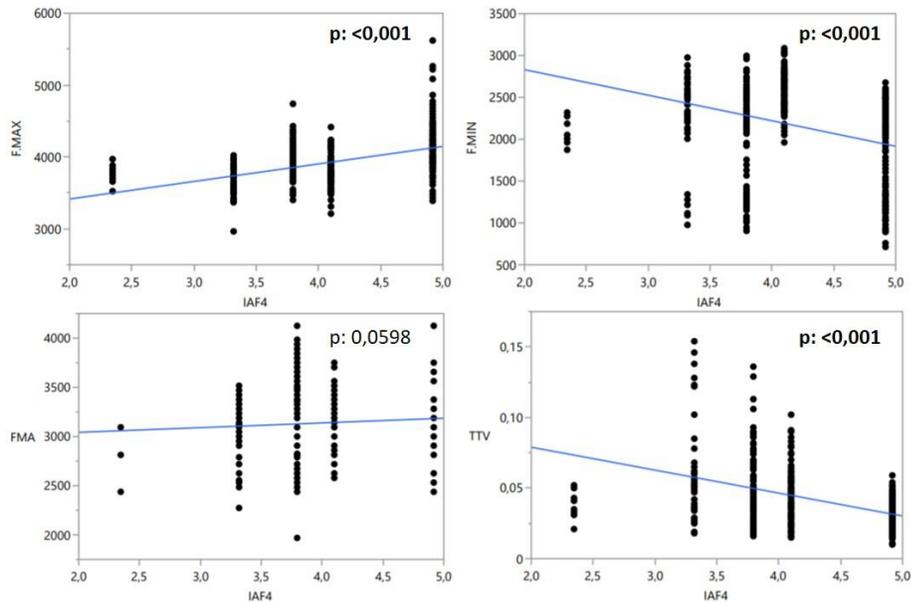


Fig. 23: Gráficos de regresión de los GLM realizados para la vocalización de contacto de *E. paradoxa* (C4_CM) y su relación con el Índice de área foliar (IAF), para cada una de las variables Frecuencia máxima (F.max) en Hz, Frecuencia mínima (F. min) en Hz, Frecuencia de máxima amplitud (FMA) en Hz y el Tiempo total de la vocalización (TTV) en segundos. Con los valores de p y resaltado en negrita las relaciones estadísticamente significativas

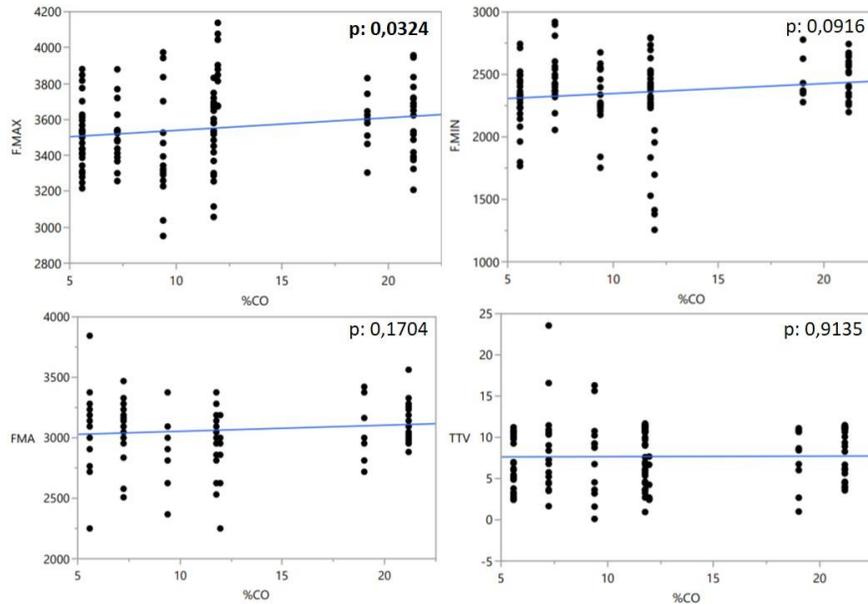


Fig. 24: Gráficos de regresión de los GLM realizados para la vocalización de llamada de *S. fuscus* (V_CN) y su relación con la apertura del dosel (%CO), para cada una de las variables Frecuencia máxima (F.max) en Hz, Frecuencia mínima (F. min) en Hz, Frecuencia de máxima amplitud (FMA) en Hz y el Tiempo total de la vocalización (TTV) en segundos. Con los valores de p y resaltado en **negrita** las relaciones estadísticamente significativas

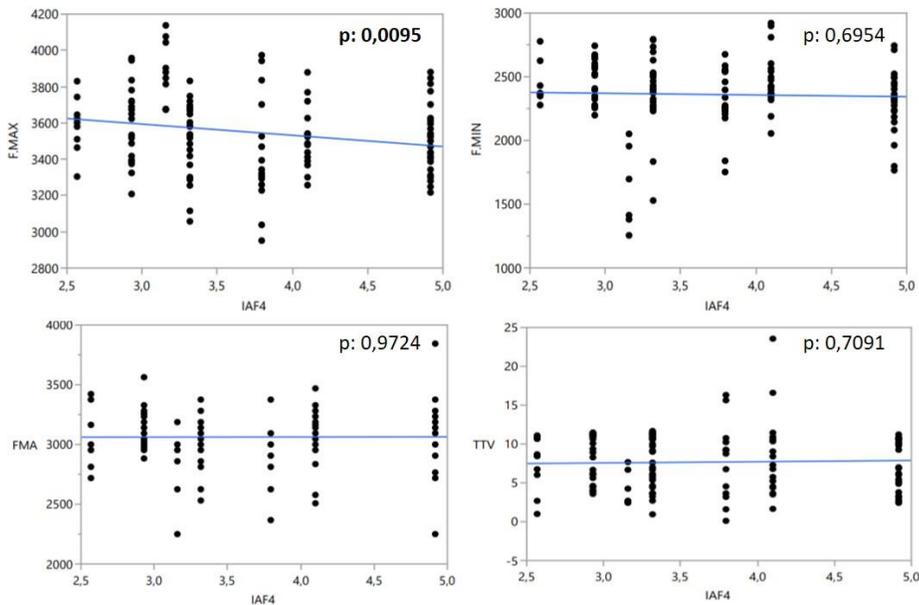


Fig. 25: Gráficos de regresión de los GLM realizados para la vocalización de llamada de *S. fuscus* (V_CN) y su relación con el Índice de área foliar (IAF), para cada una de

las variables Frecuencia máxima (F.max) en Hz, Frecuencia mínima (F. min) en Hz, Frecuencia de máxima amplitud (FMA) en Hz y el Tiempo total de la vocalización (TTV) en segundos. Con los valores de p y resaltado en **negrita** las relaciones estadísticamente significativas

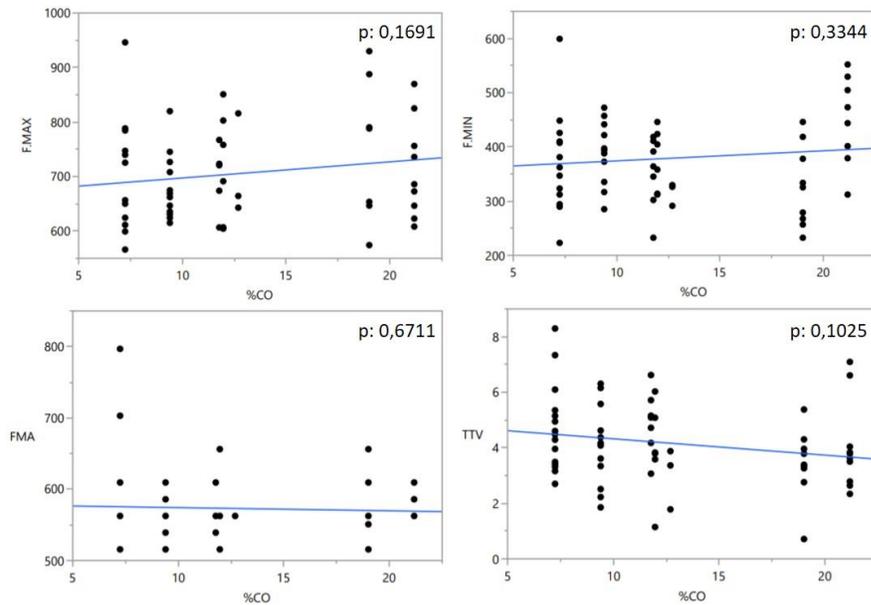


Fig. 26: Gráficos de regresión de los GLM realizados para la vocalización de llamada de *P. castaneus* (V_HH) y su relación con la apertura del dosel (%CO), para cada una de las variables Frecuencia máxima (F.max) en Hz, Frecuencia mínima (F. min) en Hz, Frecuencia de máxima amplitud (FMA) en Hz y el Tiempo total de la vocalización (TTV) en segundos. Con los valores de p y resaltado en **negrita** las relaciones estadísticamente significativas

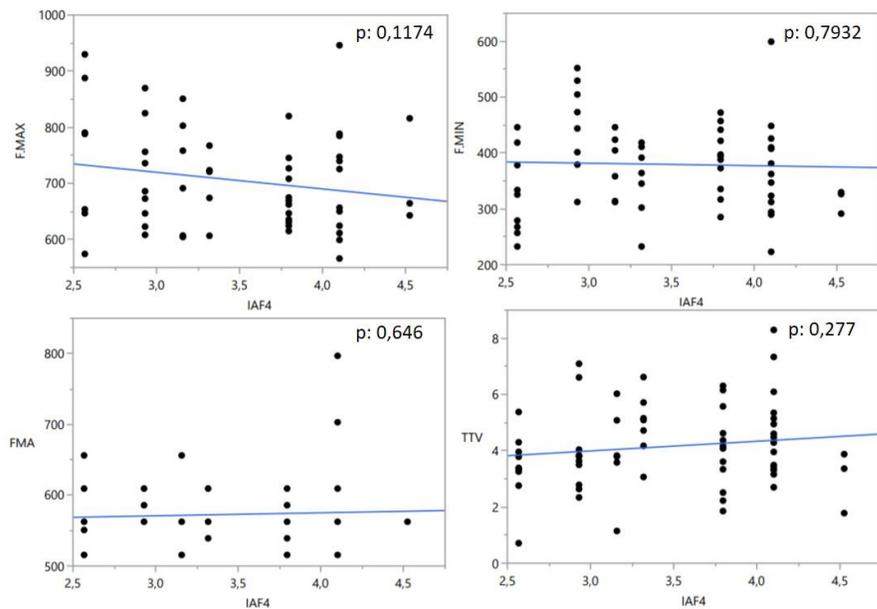


Fig. 27: Gráficos de regresión de los GLM realizados para la vocalización de llamada de *P. castaneus* (V_HH) y su relación con el Índice de área foliar (IAF), para cada una de las variables Frecuencia máxima (F.max) en Hz, Frecuencia mínima (F. min) en Hz, Frecuencia de máxima amplitud (FMA) en Hz y el Tiempo total de la vocalización (TTV) en segundos. Con los valores de p y resultado en **negrita** las relaciones estadísticamente significativas

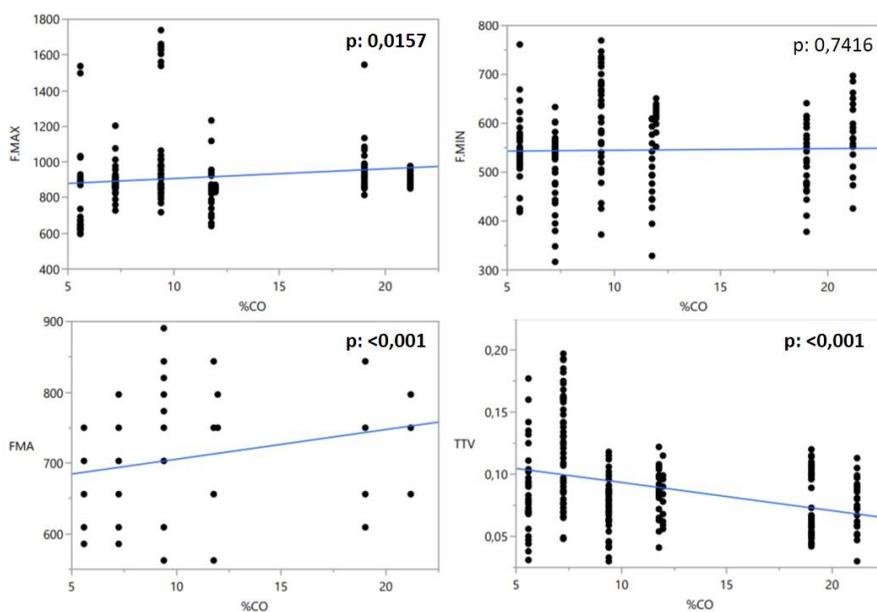


Fig. 28: Gráficos de regresión de los GLM realizados para la vocalización de contacto de *P. castaneus* (C1_HH) y su relación con el Índice de área foliar (IAF), para cada una de las variables Frecuencia máxima (F.max) en Hz, Frecuencia mínima (F. min) en Hz, Frecuencia de máxima amplitud (FMA) en Hz y el Tiempo total de la vocalización (TTV) en segundos. Con los valores de p y resaltado en negrita las relaciones estadísticamente significativas

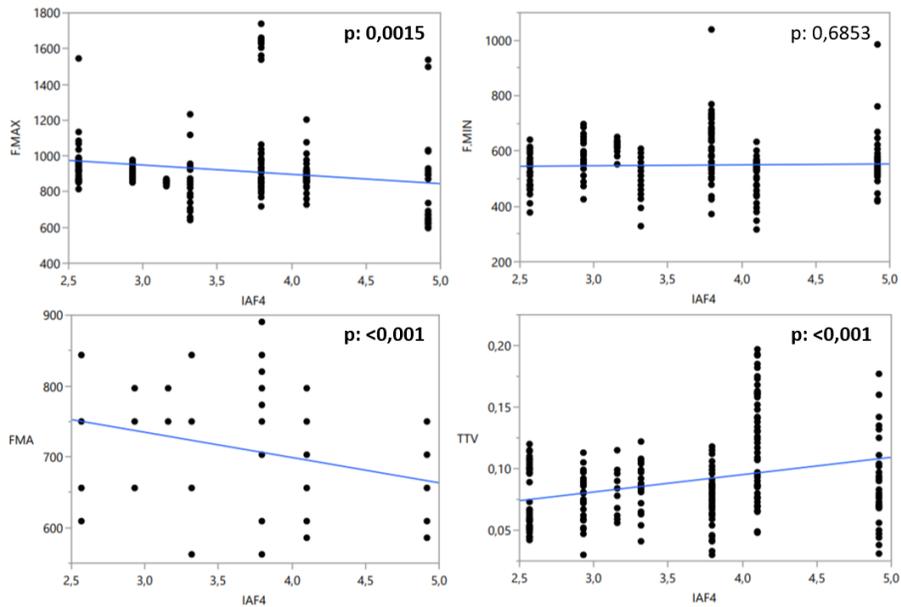


Fig. 29: Gráficos de regresión de los GLM realizados para la vocalización de contacto de *P. castaneus* (C1_HH) y su relación con el Índice de área foliar (IAF), para cada una de las variables Frecuencia máxima (F.max) en Hz, Frecuencia mínima (F. min) en Hz, Frecuencia de máxima amplitud (FMA) en Hz y el Tiempo total de la vocalización (TTV) en segundos. Con los valores de p y resaltado en negrita las relaciones estadísticamente significativas

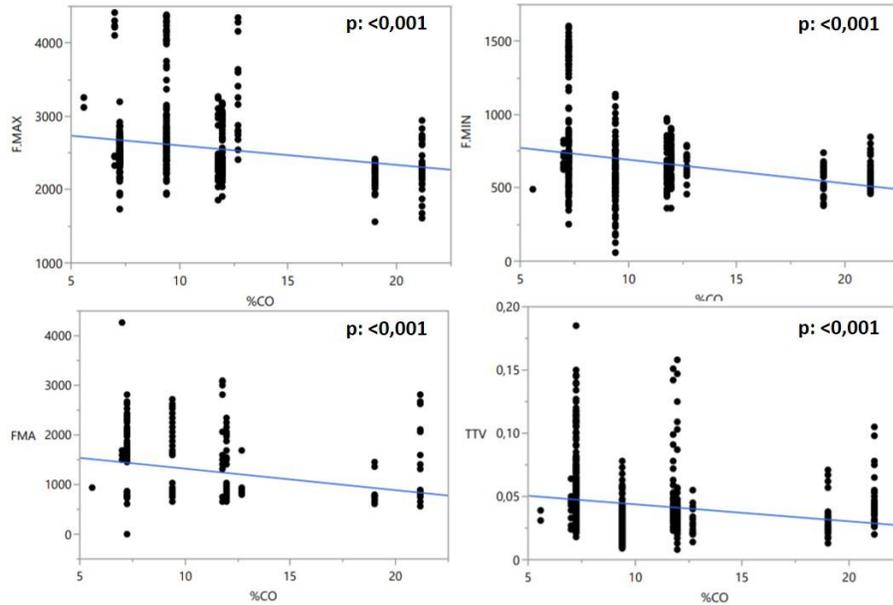


Fig. 30: Gráficos de regresión de los GLM realizados para la vocalización de contacto de *P. castaneus* (C2_HH) y su relación con el Índice de área foliar (IAF), para cada una de las variables Frecuencia máxima (F.max) en Hz, Frecuencia mínima (F. min) en Hz, Frecuencia de máxima amplitud (FMA) en Hz y el Tiempo total de la vocalización (TTV) en segundos. Con los valores de p y resaltado en negrita las relaciones estadísticamente significativas

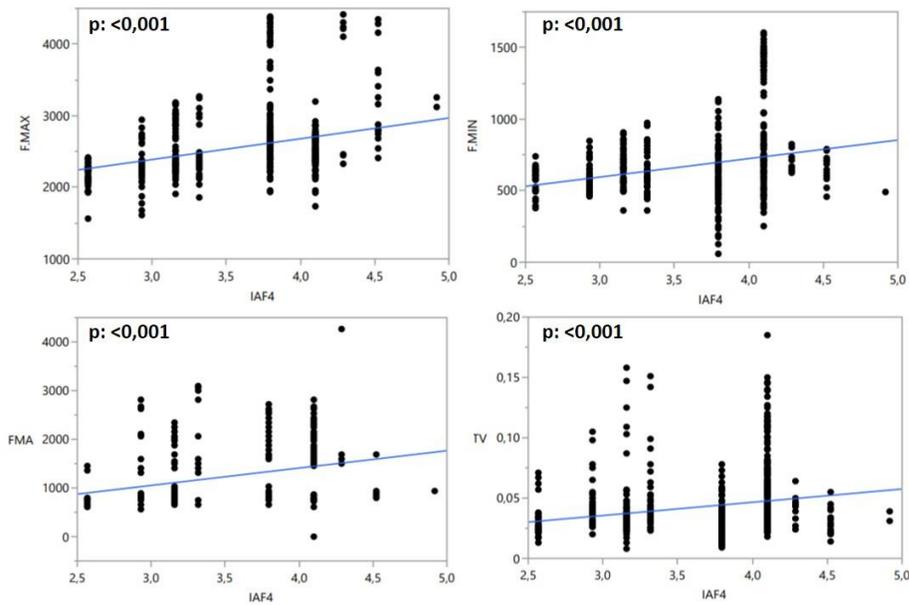


Fig. 31: Gráficos de regresión de los GLM realizados para la vocalización de contacto de *P. castaneus* (C2_HH) y su relación con el Índice de área foliar (IAF), para cada una

de las variables Frecuencia máxima (F.max) en Hz, Frecuencia mínima (F. min) en Hz, Frecuencia de máxima amplitud (FMA) en Hz y el Tiempo total de la vocalización (TTV) en segundos. Con los valores de p y resaltado en negrita las relaciones estadísticamente significativas