



**UNIVERSIDAD REGIONAL AMAZÓNICA IKIAM**

**FACULTAD DE CIENCIAS DE LA VIDA**

**CARRERA DE ECOSISTEMAS**

**VARIACIÓN EN EL REPERTORIO VOCAL DEL MONO ARDILLA (*SAIMIRI  
CASSIQUIARENSIS*) EN SEMILIBERTAD EN LUGARES INTERVENIDOS CON  
DISTINTOS GRADOS DE RUIDO AMBIENTAL.**

Proyecto de investigación previo a la obtención del Título de:

**INGENIERA EN ECOSISTEMAS**

**AUTOR: JENNIFER ARIEL TINAJERO TROYA**

**TUTOR: PhD. SARA ÁLVAREZ SOLAS**

**Tena – Ecuador**

**2024**

## **Carrera de Ecosistemas**

### **Declaración de derecho de autor, autenticidad y responsabilidad**

Tena, 26 de agosto de 2024

Yo, Jennifer Ariel Tinajero Troya con documento de identidad 2100542378, declaro que los resultados obtenidos en la investigación que presento en este documento final, previo a la obtención del título Ingeniera en Ecosistemas son absolutamente inéditos, originales, auténticos y personales.

En virtud de lo cual, el contenido, criterios, opiniones, resultados, análisis, interpretaciones, conclusiones, recomendaciones y todos los demás aspectos vertidos en el presente documento, son de mi autoría y de mi absoluta responsabilidad.

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Jennifer', with a horizontal line drawn through it.

Jennifer Ariel Tinajero Troya

CI: 2100542378

## **Carrera de Ecosistemas**

### **Autorización de publicación en el repositorio institucional**

Tena, 26 de agosto de 2024

Yo, Jennifer Ariel Tinajero Troya, con documento de identidad 2100542378 en calidad de autor/a y titular de los derechos morales y patrimoniales del trabajo de titulación “Variación en el repertorio vocal del mono ardilla (*Saimiri cassiquiarensis*) en semilibertad en lugares intervenidos con distintos grados de ruido ambiental”, de conformidad con el Art. 114 del CÓDIGO ORGÁNICO DE LA ECONOMÍA SOCIAL DE LOS CONOCIMIENTOS, CREATIVIDAD E INNOVACIÓN, reconozco a favor de la Universidad Regional Amazónica Ikiam una licencia gratuita, intransferible y no exclusiva para el uso no comercial de la obra, con fines estrictamente académicos.

Así mismo autorizo a la Universidad Regional Amazónica Ikiam para que realice la publicación de este trabajo de titulación en el Repositorio Institucional de conformidad a lo dispuesto en el Art. 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior.



Jennifer Ariel Tinajero Troya

CI: 2100542378

**Carrera de Ecosistemas**  
**Certificado de dirección de trabajo de titulación**

Tena, 26 de agosto de 2024

Certifico que el trabajo de titulación: “Variación en el repertorio vocal del mono ardilla (*Saimiri cassiquiarensis*) en semilibertad en lugares intervenidos con distintos grados de ruido ambiental”, aprobado bajo el mecanismo de titulación de: tesis, fue realizado por Jennifer Ariel Tinajero Troya, bajo mi dirección.

El mismo ha sido revisado en su totalidad y analizado por la herramienta de verificación de similitud de contenido; por lo tanto, cumple con los requisitos teóricos, científicos, técnicos, metodológicos y legales establecidos por la Universidad Regional Amazónica Ikiam, para su entrega y defensa.



Sara Álvarez Solas  
C.I: 1756474969

## TABLA DE CONTENIDO

|                                                                                                                                                    |           |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| Declaración de derecho de autor, autenticidad y responsabilidad.....                                                                               | ii        |
| Autorización de publicación en el repositorio institucional .....                                                                                  | iii       |
| Certificado de dirección de trabajo de titulación.....                                                                                             | iv        |
| TABLA DE CONTENIDO .....                                                                                                                           | v         |
| ÍNDICES DE TABLAS .....                                                                                                                            | vii       |
| ÍNDICE DE FIGURAS .....                                                                                                                            | viii      |
| RESUMEN .....                                                                                                                                      | ix        |
| ABSTRACT .....                                                                                                                                     | x         |
| <b>CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN .....</b>                                                                                                              | <b>1</b>  |
| <b>1.1    Antecedentes .....</b>                                                                                                                   | <b>1</b>  |
| <b><i>Saimiri cassiquiarensis</i>, especie de estudio .....</b>                                                                                    | <b>2</b>  |
| 1.2    Planteamiento de problema .....                                                                                                             | 6         |
| 1.3    Justificación .....                                                                                                                         | 7         |
| 1.4    Objetivos de la investigación .....                                                                                                         | 9         |
| 1.4.1    Objetivo general .....                                                                                                                    | 9         |
| 1.4.2    Objetivos específicos. ....                                                                                                               | 9         |
| <b>CAPÍTULO II: METODOLOGÍA.....</b>                                                                                                               | <b>10</b> |
| 2.1    Área de estudio. ....                                                                                                                       | 10        |
| 2.1.1    Hostería “El paraíso de las orquídeas” .....                                                                                              | 11        |
| 2.1.2    Zoológico “El Arca” .....                                                                                                                 | 11        |
| 2.1.3    Parque Amazónico “La Isla” .....                                                                                                          | 11        |
| 2.2    Pre-muestreo de los sitios de grabación y grupos de monos ardilla. ....                                                                     | 13        |
| 2.3    Muestreo y grabación de vocalizaciones de mono ardilla.....                                                                                 | 13        |
| 2.4    Pre-procesamiento de audios y vocalizaciones del mono ardilla .....                                                                         | 15        |
| 2.5    Procesamiento de los audios y vocalizaciones del mono ardilla. ....                                                                         | 15        |
| 2.6    Análisis estadístico de las vocalizaciones del mono ardilla .....                                                                           | 16        |
| <b>CAPITULO III: RESULTADOS .....</b>                                                                                                              | <b>19</b> |
| 3.1    Caracterización de las vocalizaciones de tres grupos de<br>monos ardilla ( <i>Saimiri cassiquiarensis</i> ) en estado de semilibertad. .... | 19        |
| 3.1.2    Duración de las vocalizaciones por sitio de grabación.....                                                                                | 23        |
| 3.1.3    Análisis de Componentes Principales de las vocalizaciones. ....                                                                           | 24        |

|                                                        |                                                                                                                      |           |
|--------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| 3.1.4                                                  | Análisis para la clasificación de grupo entre las vocalizaciones por Análisis discriminante lineal (LDA).....        | 27        |
| 3.2                                                    | Caracterización del ruido ambiental y la complejidad acústica de los sitios de grabación en Napo, Ecuador .....      | 29        |
| 3.2.1                                                  | Índice de complejidad acústica y ruido ambiental.....                                                                | 29        |
| 3.3                                                    | Comparación de las diferencias en la frecuencia máxima analizada con un modelo lineal generalizado mixto (GLMM)..... | 31        |
| <b>CAPITULO IV: DISCUSIÓN .....</b>                    |                                                                                                                      | <b>34</b> |
| <b>CAPÍTULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....</b> |                                                                                                                      | <b>39</b> |
| <b>REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS .....</b>                |                                                                                                                      |           |

## ÍNDICES DE TABLAS

|                                                                                                                                            |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Tabla 1-3.</b> Número de vocalizaciones emitidas y frecuencia relativa (%)<br>por grupo para los sitios de sitios.....                  | 19 |
| <b>Tabla 2-3.</b> Matriz de correlación de las variables acústicas de las<br>vocalizaciones del mono_ardilla.....                          | 27 |
| <b>Tabla 3-3.</b> Matriz de confusión de las vocalizaciones del mono ardilla. ....                                                         | 28 |
| <b>Tabla 4-3.</b> Efecto aleatorio sobre el intercepto de los grupos<br>de vocalizaciones del mono ardilla.....                            | 32 |
| <b>Tabla 5-3.</b> Variación de la frecuencia máxima en relación con<br>los sitios de grabación de las vocalizaciones del mono ardilla..... | 33 |

## ÍNDICE DE FIGURAS

|                                                                                                                                                                                                                                                   |    |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Figura 1-2.</b> Mapa de ubicación de los sitios de grabación de las vocalizaciones del mono ardilla, Napo, Ecuador. ....                                                                                                                       | 10 |
| <b>Figura 2-2.</b> Área de desplazamiento y alta actividad de los monos ardilla en los sitios de grabación, Napo, Ecuador.....                                                                                                                    | 12 |
| <b>Figura 1-3.</b> Espectrogramas de las principales vocalizaciones del repertorio vocal de <i>S. cassiquiarencis</i> .....                                                                                                                       | 20 |
| <b>Figura 2-3.</b> Mapa de calor de las 28 vocalizaciones comunes en los tres sitios de grabación.....                                                                                                                                            | 22 |
| <b>Figura 3-3.</b> Comparación de las medias de la duración de las vocalizaciones entre los sitios de grabación.....                                                                                                                              | 24 |
| <b>Figura 4-3.</b> Análisis de Componentes principales PCA general de las características acústicas en diferentes grupos de vocalizaciones de <i>Saimiri cassiquiarencis</i> provenientes de tres poblaciones en Napo, Ecuador.....               | 25 |
| <b>Figura 5-3.</b> Análisis de Componentes principales PCA por sitio de muestreo de las características acústicas en diferentes grupos de vocalizaciones de <i>Saimiri cassiquiarencis</i> provenientes de tres poblaciones en Napo, Ecuador..... | 26 |
| <b>Figura 6-3.</b> Análisis Discriminante de vocalizaciones de monos ardilla en diferentes sitios de grabación (Arca, Isla, Orquídeas) .....                                                                                                      | 29 |
| <b>Figura 7-3.</b> Comparación de las medianas de los niveles de ruido ambiental entre los sitios Arca, Isla y Orquídeas, Napo, Ecuador.....                                                                                                      | 30 |
| <b>Figura 8-3.</b> Comparación de las medianas del Índice de Complejidad Acústica entre los sitios de grabación Arca, Isla y Orquídeas, Napo, Ecuador.....                                                                                        | 31 |

## RESUMEN

La comunicación vocal del mono ardilla (*Saimiri cassiquiarencis*) es fundamental para su supervivencia, ya que poseen una amplia variedad de vocalizaciones necesarias para su cohesión grupal. Sin embargo, los sonidos antropogénicos no deseados (ruido) promueven cambios en los patrones de comunicación, lo que afecta negativamente la coordinación social. La investigación explora la variación del repertorio vocal del mono ardilla en semi-libertad en tres sitios de la Amazonía ecuatoriana con diferentes grados de ruido ambiental: Hostería "El Paraíso de las Orquídeas", Zoológico "El Arca" y Parque Amazónico "La Isla". Se grabaron y analizaron vocalizaciones utilizando equipos especializados, clasificando las señales acústicas según su tipo y función, y se calcularon parámetros acústicos como frecuencia y duración. Además, se midieron los niveles de ruido ambiental y el Índice de Complejidad Acústica (ACI) en cada sitio.

Los resultados mostraron diferencias significativas en los niveles de ruido y ACI entre los sitios. "El Paraíso de las Orquídeas" presentó los mayores niveles de ruido ambiental, mientras que "El Arca" mostró la mayor complejidad acústica. Se registraron 88 tipos de vocalizaciones. La alta variabilidad de las vocalizaciones se relacionó con la necesidad de adaptación a entornos ruidosos. El ruido ambiental impacta significativamente en la frecuencia de las vocalizaciones, sugiriendo que los monos ajustan su comunicación para mantener la efectividad en entornos ruidosos. Se destaca la importancia de considerar el ruido ambiental en estudios de comunicación animal y se recomienda realizar más investigaciones para comprender mejor las interacciones entre el ruido antropogénico y la comunicación vocal en primates, lo cual es crucial para desarrollar estrategias de conservación efectivas.

**Palabras clave:** bioacústica, comunicación vocal, mono ardilla, repertorio vocal, ruido ambiental.

## ABSTRACT

The vocal communication of the squirrel monkey (*Saimiri cassiquiarensis*) is essential for their survival, as they possess a wide variety of vocalizations necessary for group cohesion. However, unwanted anthropogenic sounds (noise) promote changes in communication patterns, negatively affecting social coordination. The research explores the variation in the vocal repertoire of the squirrel monkey in semi-freedom in three sites of the Ecuadorian Amazon with different levels of environmental noise: Hostería "El Paraíso de las Orquídeas", Zoológico "El Arca", and Parque Amazónico "La Isla". Vocalizations were recorded and analyzed using specialized equipment, classifying acoustic signals according to their type and function, and acoustic parameters such as frequency and duration were calculated. Additionally, environmental noise levels and the Acoustic Complexity Index (ACI) were measured at each site.

The results showed significant differences in noise levels and ACI between the sites. "El Paraíso de las Orquídeas" had the highest levels of environmental noise, while "El Arca" showed the greatest acoustic complexity. A total of 88 types of vocalizations were recorded. The high variability of vocalizations was related to the need for adaptation to noisy environments. Environmental noise significantly impacts the frequency of vocalizations, suggesting that monkeys adjust their communication to maintain effectiveness in noisy environments. The importance of considering environmental noise in animal communication studies is highlighted, and further research is recommended to better understand the interactions between anthropogenic noise and vocal communication in primates, which is crucial for developing effective conservation strategies.

**Keywords:** bioacoustics, environmental noise, squirrel monkey, vocal repertoire, vocal communication.

## **CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN**

### **1.1 Antecedentes**

Ecuador es uno de los países más biodiversos del planeta, presenta una gran diversidad de mamíferos, en especial primates, de acuerdo con Tirira et al., (2018) en el territorio ecuatoriano existen 22 especies de monos. Estas especies de primates son sociales, la convivencia entre individuos, grupos y especies mejoran la relación y competitividad que otorgan ventajas para asegurar su supervivencia (Amici, 2023).

La comunicación vocal en especies sociales, especialmente en monos del nuevo mundo, es fundamental debido a las características del entorno en el que habitan. La densidad de la vegetación dificulta la interacción visual, por lo que la propagación de las señales acústicas proporciona ventajas en cuanto a distancia, duración y variedad de contextos (Caselli et al., 2018).

Los primates neotropicales poseen una gran variedad de vocalizaciones (Miranda et al., 2023), sin embargo, la mayoría no ha sido estudiada, del 60% de especies no existe información de su comunicación vocal y solo el 17% tiene descrito parte de su repertorio vocal (Caselli et al., 2018).

De acuerdo con Caselli et al. (2018), el número de artículos publicados relacionados con alguna forma de comunicación vocal de primates desde el año 1935 hasta 2015 es de solamente 370, y de las pocas especies estudiadas, el repertorio vocal se centra en vocalizaciones de alerta ("long call"), tomando en cuenta que la mayoría de estas investigaciones se realizan en cautividad.

El paisaje sonoro está compuesto de señales acústicas divididas en tres elementos principales: la biofonía, fuentes sonoras bióticas conformadas por sonidos emitidos por animales (vocalizaciones); la geofonía como ruido producido por ríos o cascadas y la

antropofanía que consiste en todo el ruido producido por los humanos (ruido vehicular) (Merchán, 2014).

El impacto del ruido antropogénico en los seres humanos está bien estudiado e incluso regulado por leyes, en Ecuador el Decreto N° 3.516 establece los límites permisibles de niveles de ruido permitido usos de suelo residenciales, recursos naturales y agrícola es entre 50 a 60 dB (MAATE, 2015). Sin embargo, no existen suficientes estudios que describan el impacto en las comunidades animales.

El ruido de origen antropogénico es la fuente principal de perturbaciones acústicas en un paisaje sonoro (Merchán, 2014), la creciente expansión urbana y el tráfico vehicular provoca un enmascaramiento de las señales acústicas lo que provoca una interferencia en la transmisión, las funciones y el alcance de las vocalizaciones (Chavez, 2020).

El impacto del ruido a las señales acústicas emitidas por animales está bien estudiado en aves, seguido de anfibios y poco en mamíferos, la interferencia acústica provoca un efecto conocido como efecto Lombard que consiste en el aumento de la intensidad, duración y frecuencia de las vocalizaciones (Hotchkin & Parks, 2013).

#### *Saimiri cassiquiarensis*, especie de estudio

El género *Saimiri* está conformado por 8 especies: *Saimiri boliviensis*, *S. cassiquiarensis*, *S. collinsi*, *S. macrodon*, *S. oerstedii*, *S. sciureus*, *S. ustus* y *S. vanzolinii* (Stone, 2017). Los *Saimiri* son mejor conocidos como monos ardilla, mono payaso o bariso debido a sus características físicas (Tirira et al., 2018). Se encuentran habitando diversos ecosistemas, prefiriendo bosques secundarios y de riveras (Fleagle, 2013). Poseen una jerarquía diversa en el que tanto machos como hembras pueden ser dominantes (Solórzano et al., 2018).

La especie *Saimiri cassiquiarensis* (Lesson, 1840), o mono ardilla, es de tamaño pequeño, pesa alrededor de 1 kilogramo en promedio, siendo los machos más pesados que las

hembras (Fleagle, 2013), puede medir hasta 50 cm desde la cabeza hasta la cola (Torres, 2005). Presentan un pelaje corto, se caracteriza por la máscara blanca que se encuentra alrededor de los ojos, su hocico negro y sus orejas puntiagudas. Las tropas de monos ardilla se encuentran constituidas por un gran número de individuos, de entre 10 a más de 100, lo que la convierte en una especie comunitaria (Solórzano et al., 2018), no presentan una jerarquía social fija y no poseen una pareja establecida, no muestran dimorfismo sexual. Las hembras paren una cría por gestación, encargándose de cuidarla y transportarla. En cuanto a la comunicación, los *Saimiri* son conocidos por vocalizar constantemente durante el día (Fleagle, 2013).

Se caracterizan por ser monos ágiles, ligeros y flexibles, que se desplazan entre los árboles de manera cuadrúpeda, poseen una larga cola no prensil en la etapa adulta (Fleagle, 2013; Stone, 2017). Su dieta consiste en insectos, pequeños vertebrados, frutos, flores y néctar (Ponce-Santizo & Andresen, 2006), e incluso puede descender al suelo en busca de alimento. Existen registros de grupos mixtos entre monos ardilla y monos machines (*Cebus yuracus*) que mantienen una relación mutualista (Tirira et al., 2018).

En América del Sur se encuentran distribuidas varias poblaciones alopátricas de *Saimiri*, debido a barreras geográficas (Fleagle, 2013), en la Amazonía de Colombia, Ecuador, Perú, el sur de Venezuela y el oeste de Brasil (Solórzano et al., 2018). En Ecuador, se ubican por toda la región amazónica y las estribaciones orientales de los Andes, habitando en bosques húmedos tropicales y subtropicales (Solórzano et al., 2018); se ha podido constatar que la especie prefiere bosques primarios, pero se adapta fácilmente a bosques secundarios, especialmente a orillas de los ríos (Fleagle, 2013). Los monos ardilla habitan en bosques de dosel alto con vegetación densa y abundante (Solórzano et al., 2018).

El mono ardilla es el primate más afectado por la extracción de su medio, causado por el tráfico ilegal de vida silvestre (Solórzano et al., 2018); generalmente los tienen de mascota, debido a su aspecto y carácter dócil, además de su facilidad de adaptación

(Tirira et al., 2018), se han encontrado individuos en comunidades indígenas y en ciudades.

De acuerdo a Solorzano et al. (2018), la especie se encuentra casi amenazada principalmente por disminución de su hábitat y el tráfico ilegal, no existe un plan de manejo para esta especie lo que indica una disminución de su población. La fragmentación de su hábitat conlleva como consecuencia la pérdida de variabilidad genética debido a que se encuentran aislados en parches de bosques perturbados.

Los grupos de mono ardilla se mueven siguiendo un patrón de alimentación, frecuentemente utilizando vocalizaciones para el desplazamiento debido a la falta de visibilidad y la densidad del dosel. Generalmente son más energéticos en las mañanas mientras forrajean en busca de alimentos, explorando entre ramas y hojas secas (Galindo & Ortiz, 2018). En ambientes perturbados, con presencia de humanos, los patrones de comportamiento pueden verse alterados. Debido a que se les proporciona alimentos, ya no invierten el mismo tiempo en actividades de forrajeo, además de acostumbrarse al contacto con personas lo que puede afectar sus interacciones sociales, aumentando conductas no naturales (estereotipias) (Galindo & Ortiz, 2018).

El movimiento es un indicador de comunicación y organización para la búsqueda de recursos claves para su supervivencia, principalmente alimento y territorio (Torres, 2005). Para la coordinación del desplazamiento se comunican mediante silbidos y gorgojeos, además de emitir sonidos de alerta por presencia de posibles depredadores (Fleagle, 2013). Dependiendo de la disponibilidad de recursos y la competencia, en promedio un grupo o banda de monos ardilla manejan un área de vida extensa, de entre 100 a 500 hectáreas en libertad (Solórzano et al., 2018), recorriendo hasta 4 kilómetros diarios (Fleagle, 2013).

El mono ardilla es una especie sociable por lo que la comunicación entre los individuos es fundamental para mantener la cohesión del grupo y asegurar su supervivencia. Los *Saimiri* son bastante expresivos en cuanto a vocalizaciones y poseen un amplio

repertorio vocal, emitiendo señales acústicas en diferentes contextos, algunos cotidianos como juegos, iniciar el movimiento de la tropa, buscar alimentos y otros más comprometedores como defender territorio, buscar pareja y evitar depredadores (Caselli et al., 2018).

El comportamiento y vocalización del mono ardilla ha sido investigado principalmente en cautividad. Existen 96 estudios acerca del repertorio vocal de los *Saimiri* de los cuales 90 son completamente en cautividad o en laboratorios (Caselli et al., 2018). De acuerdo con Parra y Estrada (2011), los individuos de esta especie que han sido observados en cautividad, presentan una notoria alteración en su comportamiento, especialmente en las actividades diarias, además de que posee un considerable número de estereotipias, particularmente en sus hábitos de alimentación. Parra y Estrada (2011) concluyeron que existen diferencias significativas en el comportamiento entre individuos en cautividad y libertad. De acuerdo con Fichtel et al. (2000) las vocalizaciones más comunes emitidos en el contexto de alimentación son “*Twit*” para avisar al grupo sobre una fuente de comida y mantener una distancia mínima entre los individuos mientras se alimentan, por otro lado, el grupo “*Peep*” expresan la cohesión grupal mientras buscan y consumen comida.

Winter et al. (1966) describieron el repertorio vocal más detallado para *Saimiri sciureus*, clasificando las vocalizaciones por sus características físicas y de acuerdo a su finalidad. Se usaron 250 vocalizaciones de individuos en cautiverio. Las llamadas de contacto o “*peep calls*” realizadas en situaciones de alarma y juego; las de distancia o “*twit calls*” emitidos en la alimentación o como saludo; agresiva en general o “*ha calls*”; las agresivas dirigidas o “*arr calls*”; las que expresan gran excitación por juegos o “*shriek calls*” y las combinadas o “*combined calls*”. Por otro lado, Soltis et al. (2002) y Smith et al. (1982, 1983) se enfocaron en el estudio de los “*chucks*”, su estructura y relación con el comportamiento en cautiverio.

## 1.2 Planteamiento de problema

En el Ecuador, la extracción de fauna es una de las principales amenazas para la supervivencia de las especies. Según Tirira, (2013) las veinte especies de primates presentes en el país se ven afectadas gravemente por el tráfico ilegal, de las cuales el 40% pertenece a una sola especie, *Saimiri cassiquiarencis* (anteriormente catalogado como *Saimiri sciureus*), principalmente extraída de la Amazonía. El 98% de estos animales son destinados a tenencia como mascotas (Tirira, 2013) y se ven enfrentados a condiciones antrópicas que afectan su comportamiento y comunicación. Debido a su alta comercialización, se encuentra catalogado como *casí amenazado* (NT), aunque por falta de estudios (no existen investigaciones propias para la especie en Ecuador (Tirira et al., 2018), se desconoce la magnitud del impacto que el tráfico ilegal causa en sus poblaciones (Solórzano et al., 2018).

Existen cuatro elementos importantes en la comunicación: el emisor, el receptor, la señal y el ruido. En un paisaje sonoro puede existir el ruido ambiental (lluvia, ríos, viento) y el ruido antropogénico (tráfico vehicular, música), ambos interfieren con la comunicación bioacústica (Pulido, 2015). El ruido es definido como sonido no deseado, estos sonidos antropogénicos promueven cambios en los patrones de comunicación. En frecuencias mayores a 90 dB estos sonidos son considerados peligrosamente altos para la fauna (Obando, 2005).

Por otro lado, las llamadas de larga distancia en primates son sonidos de baja frecuencia que llegan a mayores distancias que los de altas frecuencias (Obando, 2005). Sin embargo, existen sonidos de bajas frecuencias de origen humano, como el ruido vehicular, que se atenúan lentamente y son omnidireccionales, que enmascaran la comunicación entre emisor y receptor, lo que podría estar generando diferentes impactos negativos en la fauna. Esto podría condicionar tanto afectaciones fisiológicas, que a largo plazo podrían provocar un estrés crónico, como de comportamiento, influyendo en la morfología de las vocalizaciones y provocando un efecto de Lombard (Hotchkin & Parks, 2013).

Las investigaciones del control neuronal de la producción y desarrollo vocal en primates del nuevo mundo fueron llevadas a cabo en *Saimiri sciureus* por Jürgens (2009), pero a pesar de la disponibilidad de información básica acerca de las vocalizaciones no existe una descripción detallada del repertorio de monos ardilla en libertad.

### **1.3 Justificación**

Dado que la situación actual del mono ardilla se ha visto afectada por la deforestación de su hábitat, y el tráfico ilegal (Tirira, 2013), es frecuente encontrar a la especie en centros de tenencia de animales o áreas intervenidas. Estas condiciones, además, pueden alterar sus comportamientos y comunicación, generando estrés y una intensa dependencia del ser humano, lo que imposibilita la recuperación y reintroducción de la especie a su medio natural o su supervivencia en ambientes alterados (Torres, 2005).

La comunicación vocal es un rasgo específico de cada especie, dependiendo de su morfología, y distribución geográfica (Paim & Queiroz, 2009); las condiciones a las que están expuestos los individuos pueden influir en las características de sus vocalizaciones. La contaminación acústica genera diferencias en las frecuencias máximas, mas no en las mínimas (Paulo-Morelo & Sánchez-Palomino, 2021), y la conformación de los grupos también influye (Paim & Queiroz, 2009). El cambio en la estructura sonora puede provocar alteraciones en el comportamiento social, lo que implica que un individuo del grupo pudiera no ser reconocido como miembro de la especie (Obando, 2005).

El grado de adaptación que las especies muestran ante estas condiciones es clave para establecer estrategias de conservación *in situ* y *ex situ*. Entender mejor cómo afecta la actividad antrópica, y específicamente el ruido ambiental, a la comunicación de los primates es fundamental para establecer indicadores de bienestar que identifiquen los individuos aptos para ser liberados, pudiéndose comunicar socialmente, o para entender cómo la contaminación acústica puede afectar a las especies en su comportamiento y fisiología. Es importante recalcar que los primates son importantes dispersores de semillas, polinizadores o incluso controladores de plagas, por lo que su

conservación es clave para la preservación del bosque tropical (Ponce-Santizo & Andresen, 2006).

Por los motivos mencionados anteriormente, se plantea la siguiente investigación para evaluar cómo el ruido antrópico afecta al repertorio vocal en diferentes escenarios intervenidos en tres grupos de monos ardilla en semi-libertad, considerando variables acústicas espaciales y sociales.

Como se ha mencionado, son muy pocos los estudios que se han realizado en bioacústica de primates, y las pocas investigaciones en *S. cassiquiarensis* son de la década de 1960. Es clave continuar investigando sobre el tema para desarrollar estrategias que ayuden a paliar los efectos de las actividades humanas en la alteración del comportamiento y comunicación de estas especies.

## **1.4 Objetivos de la investigación**

### **1.4.1 *Objetivo general***

- Evaluar si el ruido ambiental afecta el repertorio vocal (frecuencia y duración) del mono ardilla en semilibertad en lugares intervenidos con distintos grados de ruido ambiental.

### **1.4.2 *Objetivos específicos.***

- Caracterizar las vocalizaciones de tres grupos de monos ardilla (*Saimiri cassiquiarensis*) en estado de semi-libertad de tres sitios pertenecientes a Napo mediante la recolección de información bioacústica.
- Caracterizar el ruido ambiental y la complejidad acústica de tres sitios intervenidos mediante la recolección de información bioacústica.
- Comparar las vocalizaciones de los tres grupos de monos ardilla (*Saimiri cassiquiarensis*) en semilibertad que se encuentran en lugares con diferentes grados de ruido ambiental, y evaluar si las frecuencias y duraciones de las vocalizaciones se relacionan con los niveles de ruido.

## CAPÍTULO II: METODOLOGÍA

### 2.1 Área de estudio.

Se estudiaron tres grupos de mono ardilla pertenecientes a diferentes localidades de la provincia de Napo: zoológico El Arca, hostería El Paraíso de las orquídeas, y el Parque Amazónico La Isla (Figura 1-2). Cada grupo estaba conformado por entre 30 a 50 individuos en condiciones de semilibertad con diferentes perturbaciones y diversos impactos antrópicos, tanto de ruido, como interacción fauna-gente.



**Figura 1-2.** Mapa de ubicación de los sitios de grabación de las vocalizaciones del mono ardilla, Napo, Ecuador.

### **2.1.1 Hostería “El paraíso de las orquídeas”**

El “paraíso de las orquídeas” también conocido como la isla de los monos, es una hostería ubicada en el cantón Archidona, provincia de Napo. Se encuentra a 650 metros sobre el nivel del mar y cuenta con 22 hectáreas en el que se conserva flora nativa del lugar y dos especies de monos (*Saimiri cassiquiarensis* y *Cebus yuracus*) en estado de semilibertad. Se puede encontrar un grupo numeroso de monos ardilla (aproximadamente entre 30 a 40 individuos) que se desplazan principalmente en los alrededores de la recepción y ocasionalmente atraviesan la carretera, recorren aproximadamente 2,86 hectáreas (Figura 2-2), teniendo mayor actividad en los comederos. La hostería estaba conformada por varias cabañas distribuidas a lo largo del terreno, un comedor-recepción y una piscina. Se encuentra al costado de la carretera Troncal amazónica, el río Misahuallí atraviesa la propiedad y cuenta con varios árboles frutales.

### **2.1.2 Zoológico “El Arca”**

El Arca es un albergue dedicado a la conservación de especies creado en 2005 que funge como zoológico, centro de rescate y tenencia de vida silvestre; se ubica en la parroquia Archidona, cuenta con más 46 especies diferentes en 8 hectáreas, entre los que se puede encontrar un grupo de entre 20 a 35 monos ardilla que continuamente se desplazan aproximadamente 3,92 hectáreas mientras forrajea (Figura 2-2: áreas naranjas) entre las jaulas de los otros animales. Lo atraviesan varios riachuelos, cuenta con varios parches de bosque, con pocos árboles frutales, se encuentra mayoritariamente bambú y plantas ornamentales.

### **2.1.3 Parque Amazónico “La Isla”**

El Bioparque “La Isla” es un espacio de gran importancia para la conservación tanto de flora como de fauna nativa de la zona. Se encuentra ubicado en el centro de la ciudad de Tena y cuenta con 24 hectáreas, de las cuales 8 son destinadas para el ecoturismo y

la educación ambiental. El bioparque es el hábitat de dos grupos de monos ardilla y un grupo de monos chichicos (*Leontocebus lagonotus*). Los grupos están conformados por entre 15 a 25 individuos. La Isla está rodeada por dos ríos: el Tena y el Pano, existe una extensa vegetación por la cual los monos se desplazan, recorriendo aproximadamente 3.25 hectáreas en búsqueda de alimentos, las áreas rojas indican comederos (Figura 2-2). A los alrededores se encuentra una unidad educativa y varios locales de comida.

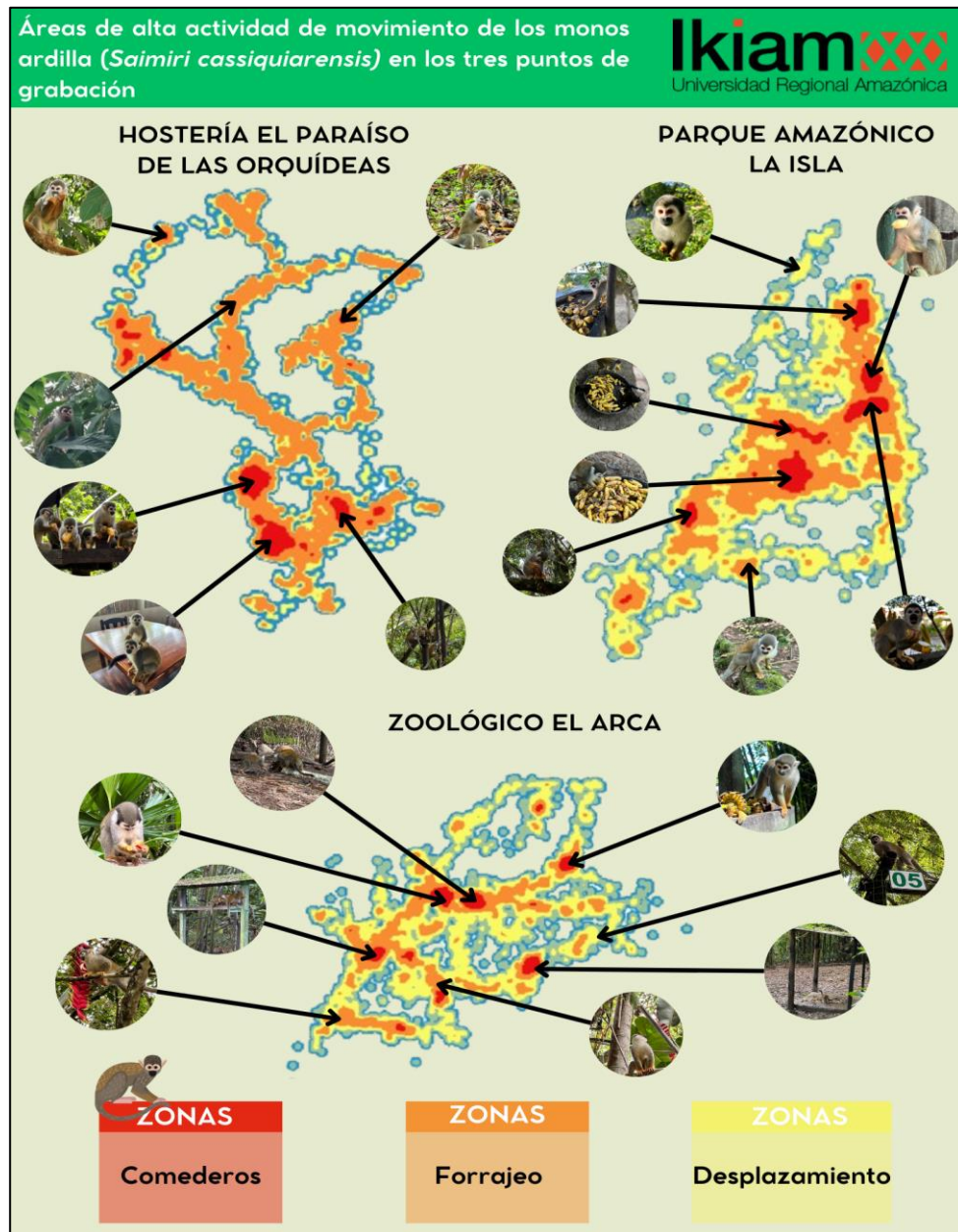


**Figura 2-2.** Área de desplazamiento y alta actividad de los monos ardilla en los sitios de grabación, Napo, Ecuador.

## **2.2 Pre-muestreo de los sitios de grabación y grupos de monos ardilla.**

En la fase previa al muestreo, se determinó el momento y el lugar óptimos para realizarlo, un paso primordial para la organización y la correcta recolección de datos en campo. Se realizó una visita previa a los lugares establecidos de grabación con el fin de solicitar la autorización respectiva previa a proceder con las grabaciones a los *Saimiri* que se encontraban en el lugar. También se hicieron pruebas con los equipos de grabación para conocer su funcionamiento y la técnica adecuada para manejarla sin que existan interferencias o grabaciones de mala calidad debido a un mal uso. Adicionalmente, se realizó un recorrido en los sitios establecidos con el fin de familiarizarnos con el entorno y sitios estratégicos de grabación, número de individuos. Conocer los lugares de descanso de los monos y sus patrones de movimientos con el propósito de verificar el nivel de semilibertad y las condiciones a las que está expuesto el grupo.

En esta fase, los individuos serán observados mediante el método de muestreo *ad libitum* (Muñoz, 2014), que consiste en la observación global no sistemática del grupo durante un periodo de tiempo determinado. En este caso, no se utilizará el método focal, debido a que la especie objetivo no muestra dimorfismo sexual y no es posible la diferenciación sin manipularlos.

## **2.3 Muestreo y grabación de vocalizaciones de mono ardilla.**

El muestreo consistió en el seguimiento y grabación de las vocalizaciones de los monos ardilla en los sitios designados previamente. Para almacenar las señales acústicas se utilizó una grabadora TASCAM DR70D configurada previo a empezar con las grabaciones, se estableció la fecha, hora y lugar de la toma de datos, adicionalmente se usó una batería portátil lo que permitió su uso prolongado. Las grabaciones se configuraron en formato WAV a 24 bits, lo que garantizó la calidad del audio y las características acústicas originales con una tasa de muestreo de 96k.

Para capturar las vocalizaciones se empleó un micrófono direccional RODE NTG4 junto con un protector de viento RODE WS6 Deluxe Windshield para evitar en mayor medida la interferencia o sonidos no deseados, lo que posibilitó la toma de audios de calidad, se aconseja a su vez incluir un soporte para el micrófono que disminuyan los ruidos producidos por el movimiento del mismo (Fischer et al., 2013).

Una parte importante de la grabación de señales acústicas es escucharlas para monitorear la toma de datos, para lo cual se utilizaron unos audífonos TASCAM- TH02.

La grabación de las señales acústicas se realizó mediante la búsqueda y seguimiento activo de los monos ardilla, se mantuvo una distancia de entre 5 a 10 metros (Boinski, 1991; Boinski, 1996) sugieren una distancia óptima de entre 5 a 20 metros ya que las vocalizaciones son de alta frecuencia y baja amplitud por lo que los sonidos se atenúan debido a la densidad del dosel.

Para el registro de la comunicación entre los *Saimiri* se utilizó el método de grabar 5 minutos de vocalizaciones seguidas cada 15 minutos (Torres, 2005), manteniendo la observación de la tropa de monos ardilla en todo momento. Esta metodología nos permitió asegurar la representatividad del repertorio vocal, tanto en tipos de vocalizaciones como en su repetición.

El muestreo se realizó durante un mes completo por cada sitio, las grabaciones se ejecutaron entre las 9:00 hasta las 16:00 horas (horario de atención de los centros), las horas de grabación por día variaron dependiendo de la facilidad para encontrar a la tropa de monos ardilla, los obstáculos propios del terreno y a la versatilidad del clima. A la par de la recolección acústica se tomaron datos del desplazamiento del grupo mediante las rutas marcadas, usando un GPS GARMIN MAP 64s para analizar los patrones de movimiento mediante un mapa de calor.

Todas las tomas de datos fueron efectuadas por la misma persona para controlar la calidad y mantener la metodología.

## **2.4 Pre-procesamiento de audios y vocalizaciones del mono ardilla.**

Se digitalizaron las grabaciones almacenadas en la tarjeta de memoria de la grabadora. En el preprocesamiento se buscó mejorar la calidad de la señal del audio mediante un conjunto de técnicas (Caycedo-Rosales et al., 2013), con el objetivo de lograrlo se utilizó el software Ocenaudio versión 3.11.25 (Ocenaudio Team, 2023).

Se aplicó un efecto para normalizar la amplitud a -3dB (Huang et al., 2009) lo que nos permitió estandarizar la señal de las grabaciones, adicionalmente se redujo el ruido producido por la propia grabadora, teniendo cuidado de no seleccionar ningún tipo de vocalización o ruido del ambiente, para lograrlo aumentamos el contraste de las mismas (Brandes, 2008; Briggs et al., 2012). Posteriormente se exportaron los archivos manteniendo el formato. WAV para su procesamiento.

## **2.5 Procesamiento de los audios y vocalizaciones del mono ardilla.**

El procesamiento de los audios se realizó mediante el software Raven Pro versión 1.6.5 (Cornell University, 2022.) a partir de los audios preprocesados anteriormente. Se configuró un brillo de 48, el contraste a 70 y un tamaño de ventana para el espectrograma de 1024 lo que nos permitió una mejor apreciación de las vocalizaciones.

Se procedió a identificar manualmente cada una de las señales sonoras emitidas por los monos ardilla en cada sitio de muestreo, en el que identificamos el tipo y grupo al que pertenece dicha vocalización de acuerdo a la clasificación de Winter et al. (1966) para establecer el repertorio vocal de *Saimiri cassiquiarencis*. Cabe mencionar que el tipo de vocalización son categorías específicas asignadas a señales acústicas basadas en sus características. El grupo de vocalización es una clasificación más amplia que agrupa a varios tipos de vocalizaciones que expresan contextos similares (Winter et al. 1966), los grupos de vocalizaciones permiten una clasificación más manejable.

Una vez identificadas las vocalizaciones extrajimos la tabla de selección de cada audio con los parámetros acústicos recomendados (Paim & Queiroz, 2009; Paulo-Morelo & Sánchez-Palomino, 2021; Torres, 2005) de la que se obtuvieron el tiempo inicial (seg), final (seg) y duración (seg) de la vocalización, además de la frecuencia máxima (FM), frecuencia mínima (FMI), pico de la frecuencia (Hz), delta de frecuencia (Hz) y, pico de tiempo (s). Adicionalmente se obtuvo el número de armónicos y notas para cada vocalización.

Una vez exportada la tabla de selecciones se revisaron los archivos para realizar una sola base de datos en Excel y proceder con los análisis estadísticos.

## **2.6 Análisis estadístico de las vocalizaciones del mono ardilla.**

Mediante el uso de análisis estadísticos se buscó evaluar y comparar la variación en las frecuencias y duraciones de las vocalizaciones de repertorio vocal de los monos ardilla considerando como variables dependientes los grupos de vocalización, frecuencia máxima, delta frecuencia y duración. La variable independiente es el nivel de ruido de los sitios de grabación y la variable aleatoria el tamaño de los grupos de monos (número de individuos).

Para la caracterización del repertorio vocal se identificaron las vocalizaciones de los audios se clasificaron de acuerdo a tipo y grupo. Sin embargo, debido a la variabilidad de los tipos de vocalizaciones de *S. cassiquiarencis* se decidió trabajar con los grupos que engloban a los diferentes tipos de vocalizaciones en común.

Una vez procesados los audios se analizaron estadísticamente para la comparación de resultados del repertorio vocal obtenido de los sitios de muestreo en el programa R (v4.3.3, R Core Team 2024).

En primer lugar, se procedió a normalizar los datos para garantizar que todas las características acústicas estuvieran en la misma escala, utilizando la técnica de min-max

scaling. El análisis de componentes principales se utilizó para lograr obtener las características acústicas relevantes de las vocalizaciones del mono ardilla. El conjunto de datos de vocalización incluía múltiples parámetros acústicos (medidas de frecuencia y medidas de duración), el PCA ayudó a reducir la dimensionalidad de los datos transformándolo en un conjunto de componentes principales, lo que facilitó la visualización y el análisis de los datos sin perder información significativa. Se identificaron qué variables tienen mayor peso en la diferenciación de los grupos y cómo se relacionan las distintas vocalizaciones entre sí en términos de sus características acústicas. Se seleccionaron las características acústicas relevantes (delta time, high frequency y delta frequency), se utilizó la función “prcomp” para extraer las componentes principales y analizar las proporciones de varianza explicadas por cada componente. Finalmente, se generó un gráfico de dispersión para visualizar las vocalizaciones en el espacio de las dos primeras componentes.

Para visualizar las distribuciones y diferencias en las características acústicas (máxima frecuencia y duración), se realizaron histogramas y boxplots, segmentando los datos por grupo de vocalización y sitio de grabación.

En la evaluación de las vocalizaciones del mono ardilla se utilizó el análisis de componentes principales (LDA) para clasificar las vocalizaciones en diferentes grupos y visualizar la variabilidad acústica reflejando la complejidad y diversidad de las vocalizaciones. Además, el LDA ayudó a evaluar qué tan bien se separan los grupos de vocalizaciones de acuerdo al sitio de grabación y a identificar las características acústicas más importantes para distinguir entre diferentes tipos de llamadas. El LDA proporcionó una comprensión clara de cómo se agrupan y se diferencian las vocalizaciones de los monos ardilla según sus características acústicas de acuerdo al sitio de grabación.

Se calculó el ruido ambiental y el índice de complejidad acústica (ACI) (Lozano et al., 2014) sumando las características normalizadas, lo que permitió evaluar la complejidad acústica de cada localidad. El nivel del ruido indica la intensidad del sonido en un entorno o paisaje sonoro y se mide en decibelios. Por otra parte, el índice de

complejidad acústica (ACI) se refiere a la diversidad de sonidos o vocalizaciones en una grabación. Para obtener los resultados, se seleccionaron aleatoriamente 20 archivos .WAV, previamente pre-procesados debido a la limitación para manejar archivos de gran tamaño. Para leer los archivos en R, se utilizó la función "readWave" del paquete "tuneR" (Ligges et al., 2024), y para calcular el ruido ambiental se obtuvo la media de la envolvente de la señal del audio mediante la función "env" del paquete "seewave" (Sueur et al., 2008) para su posterior normalización (Ariza, 2021). Para el ACI, se seleccionaron características acústicas específicas ("D.Time", "H.Freq", "Delta.Freq"), que fueron normalizadas y sumadas para obtener el ACI de cada grabación. Al calcular el ACI, es fundamental dividir el espectro de frecuencia en bandas ("wl") y analizar la variabilidad en cada una. El parámetro "j" define el intervalo temporal, y las bandas de frecuencia permiten evaluar cómo la energía se distribuye en diferentes rangos del espectro. Esto es crucial, ya que diferentes tipos de sonidos y vocalizaciones suelen ocupar bandas de frecuencia distintas. Un ACI alto en una banda específica indica una gran diversidad de sonidos en esa banda, mientras que un ACI bajo sugiere una mayor uniformidad. Se realizó una correlación de Pearson para conocer la relación entre el ruido ambiental y el índice de complejidad acústica.

El Modelo Lineal Generalizado Mixto (GLMM) se empleó para analizar la variabilidad en las frecuencias máximas y duraciones de las vocalizaciones del mono ardilla, considerando tanto efectos fijos como aleatorios. Los efectos fijos incluyeron los sitios de grabación, mientras que los efectos aleatorios capturaron la variabilidad entre las características acústicas. Este enfoque permitió identificar patrones y diferencias significativas en las vocalizaciones según el sitio de grabación y el grupo de vocalización, proporcionando una visión integral de cómo las características acústicas varían en función de los distintos factores estudiados. Esto ofrece una comprensión detallada de la complejidad y diversidad de las vocalizaciones en diversos entornos.

Estas metodologías permitieron obtener una visión integral de los datos de vocalizaciones, destacando las diferencias y patrones relevantes tanto en el tiempo como entre los distintos sitios de grabación y grupos de vocalizaciones.

## CAPITULO III: RESULTADOS

### 3.1 Caracterización de las vocalizaciones de tres grupos de monos ardilla (*Saimiri cassiquiarensis*) en estado de semilibertad.

#### 3.1.1 Descripción del repertorio vocal del mono ardilla (*Saimiri cassiquiarensis*)

Se registraron y clasificaron un total de 16534 vocalizaciones para los tres sitios de grabación, correspondientes a 4356 para Arca, 6240 para Isla y 5938 para Orquídeas. Se grabó un total de 40.51 minutos netos de vocalizaciones para Orquídeas, 33.66 minutos para Arca y 30.87 minutos para Isla. Para Arca se identificaron 57 tipos de señales, para Isla fueron 70 tipos y para Orquídeas 40, todas catalogadas en 10 grupos de vocalizaciones de acuerdo al catálogo de Winter et al (1966). En la tabla 1-3 se expresa el número de vocalizaciones emitidas y la frecuencia relativa con la que se emitieron por grupo para cada sitio de grabación.

**Tabla 1-3** Número de vocalizaciones emitidas y frecuencia relativa (%) por grupo para los sitios de sitios.

| Grupo    | ARCA       |          | ISLA       |          | ORQ        |          |
|----------|------------|----------|------------|----------|------------|----------|
|          | Frecuencia | Cantidad | Frecuencia | Cantidad | Frecuencia | Cantidad |
| Peep     | 48.04      | 2093     | 40         | 2496     | 49.76      | 2955     |
| Twit     | 28.65      | 1248     | 41.73      | 2604     | 36.69      | 2179     |
| Arr      | 8.9        | 388      | 2.3        | 144      | 5.15       | 306      |
| Combined | 5.62       | 245      | 4.85       | 303      | 2.1        | 125      |
| Shriek   | 4.36       | 190      | 2.94       | 184      | 4.17       | 248      |
| N.I      | 1.58       | 69       | 0.99       | 62       | 0.43       | 26       |
| Ha       | 1.14       | 50       | 0.97       | 61       | 0.94       | 56       |
| Varios   | 1.01       | 44       | 4.5        | 281      | 0.72       | 43       |
| Chuck    | 0.42       | 18       | 0.14       | 9        | 0          | 0        |
| Bark     | 0.25       | 11       | 1.53       | 96       | 0          | 0        |
| Total    | 99.97      | 4356     | 99.95      | 6240     | 99.96      | 5938     |

Específicamente las principales vocalizaciones más frecuentes para los tres sitios fueron 27 tipos (Figura 1-3).

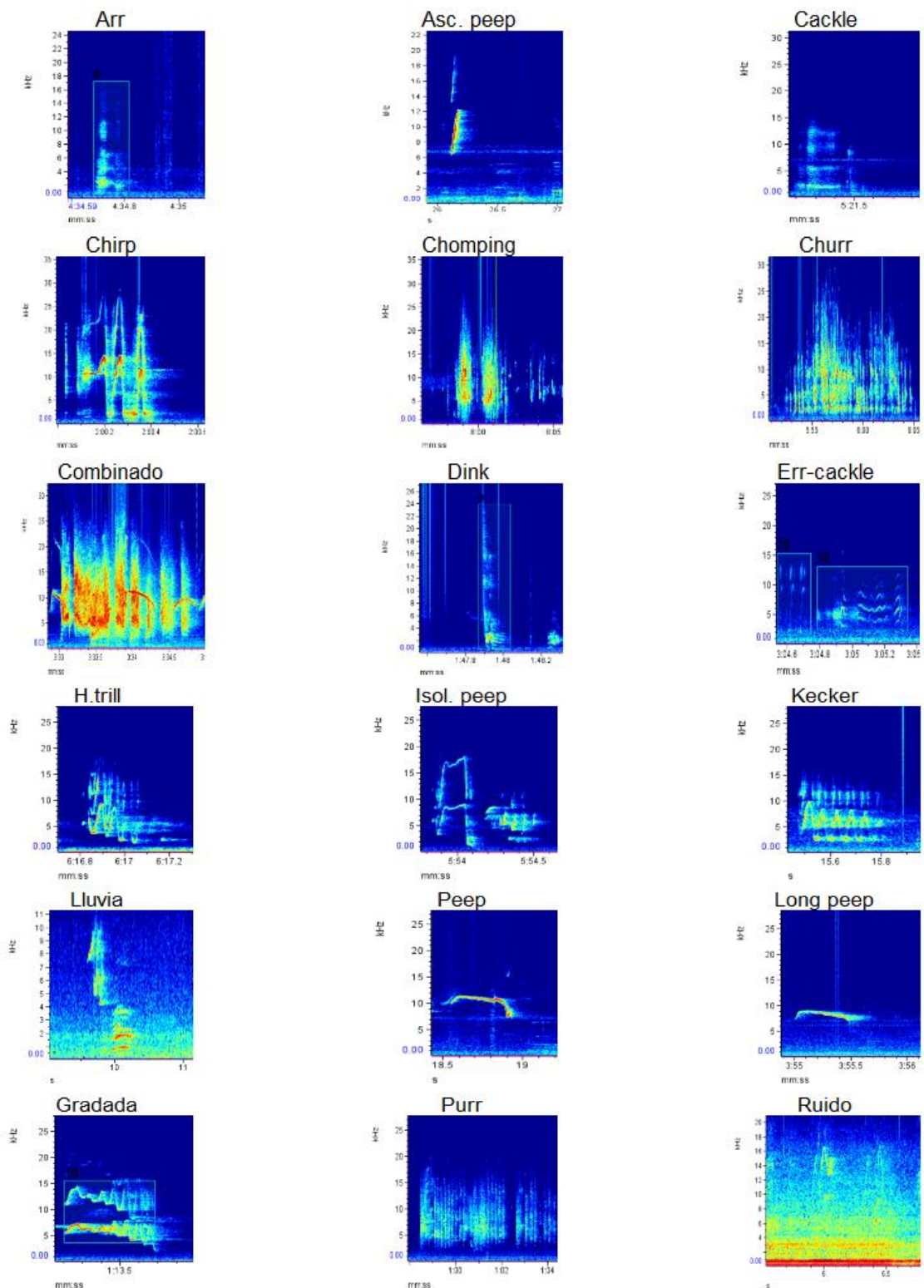


**Figura 1-3** Espectrogramas de las principales vocalizaciones del repertorio vocal de *S. cassiquiarencis*

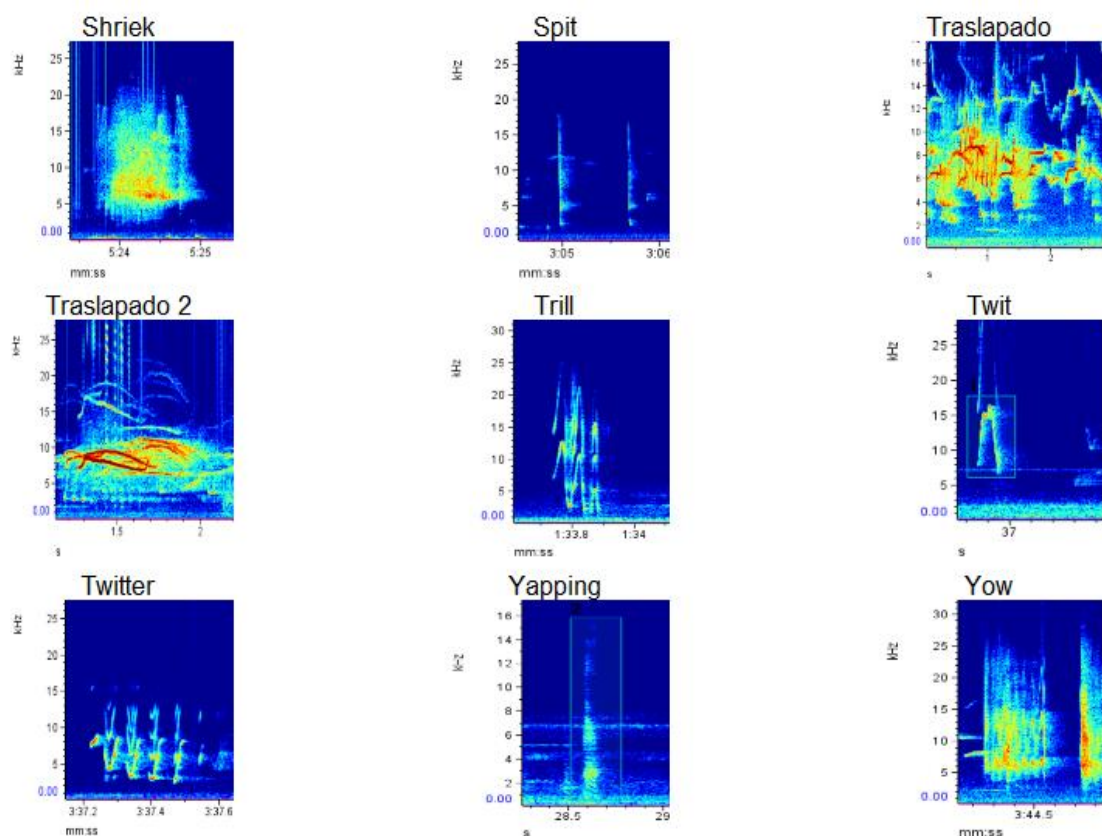


**Figura 1-3 (Continuación)** Espectrogramas de las principales vocalizaciones del repertorio vocal de *S. cassiquiarencis*

En total existen 88 tipos de vocalizaciones de las cuales 28 se encuentran en los tres sitios de estudio (Figura 2-3) siendo las vocalizaciones que comparten los tres grupos de monos ardilla en su repertorio.

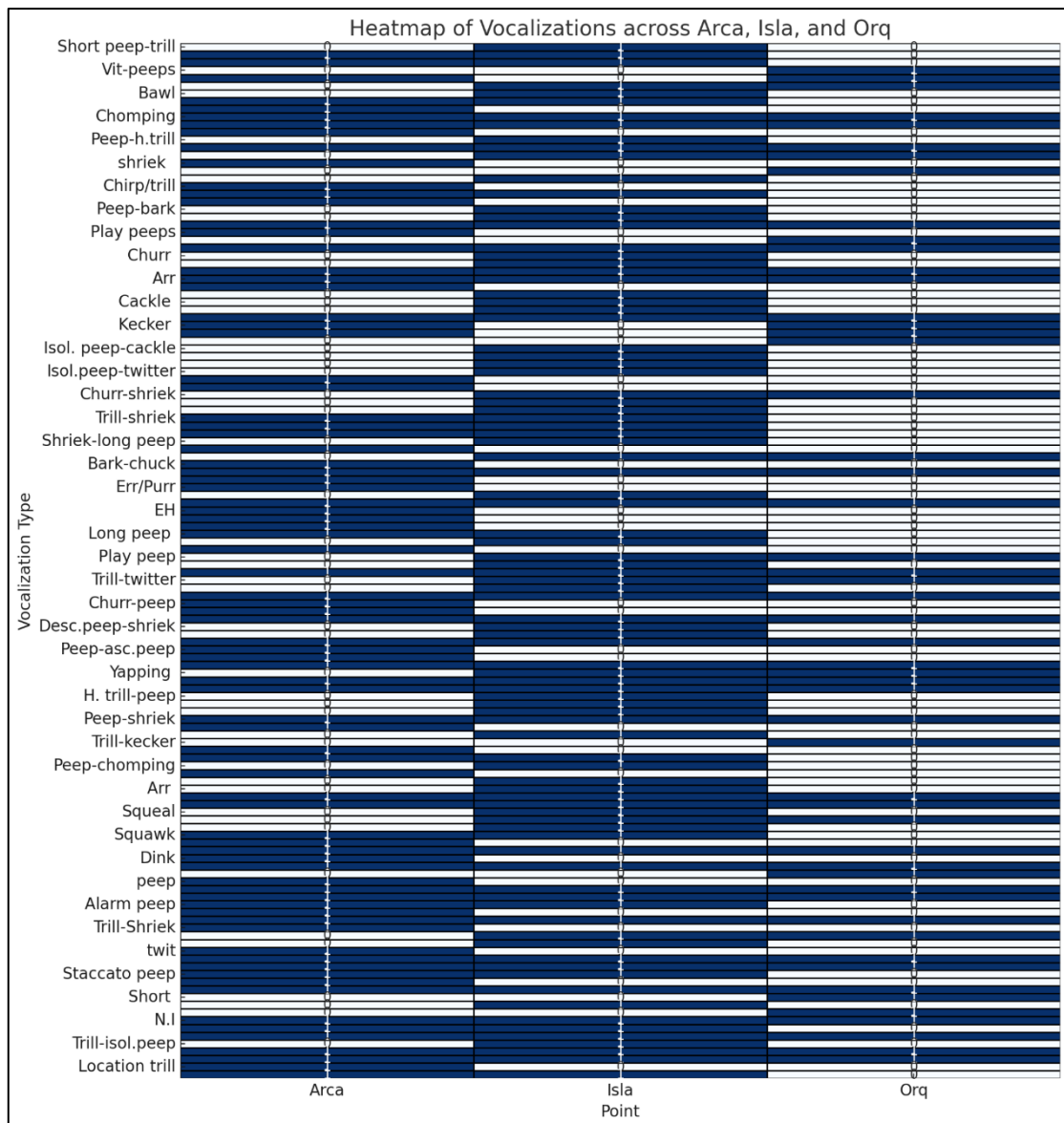


**Figura 2-3** Mapa de calor de las 28 vocalizaciones comunes en los tres sitios de grabación.

De acuerdo a la figura 2-3 las vocalizaciones que comparten los tres sitios son “arr”, “ascending peep”, “cackle”, “chirp”, “chomping”, “chucks”, “churr”, “descending peep”, “eh”, “err”, “err-cackle”, “high trill”, “isolation peep”, “kecker”, “long peep”, “N.I (no identificadas)”, “peep”, “peep-shriek”, “peep-trill”, “peeps”, “purr”, “short peep”, “shriek”, “spit”, “trill”, “twit”, “twitter” y “vit”.

Podemos observar que existen varias llamadas combinadas, esto es debido a que los monos pueden transformar una vocalización inicial en otra completamente distinta, como por ejemplo “arr-trill”, “bark-chuck”, “cackle-trill”, “cackle-peep”, “err-cackle”,

*"err-shriek", "peep-trill", "peep-twitter", "peep-err", "trill-cackle", "trill-kecker", "trill-peep" y "trill-twitter"*. Esta combinación de llamadas indica que no solamente existen señales bien definidas con funciones específicas sino una superposición entre ellas. Esta transición se conoce como vocalizaciones gradadas, y de acuerdo a Schott (1975), muestran una variabilidad continua en sus parámetros acústicos, sin fronteras claras entre un tipo de vocalización y otro.

### **3.1.2 Duración de las vocalizaciones por sitio de grabación.**

De acuerdo a la figura 3-3, en Arca las vocalizaciones *"Arr"* tienen duraciones que se prolongan hasta más de 3 segundos, mientras que en Isla y Orquídeas también muestran duraciones amplias, pero con menor extensión comparado con Arca. Otros grupos como *"Chuck"* y *"Peep"* en Arca tienen duraciones con una mayor dispersión que alcanzan hasta 1 segundo. En Isla, la dispersión de las duraciones para otros grupos es relativamente menor, con la mayoría de las vocalizaciones durando menos de 1 segundo. En Orquídeas, además de *"Arr"*, los grupos *"Peep"* y *"Shriek"* también muestran duraciones variables que alcanzan hasta 2 segundos. En general, se observa que Arca y Orquídeas tienen vocalizaciones con mayor variabilidad en comparación con Isla, destacándose el grupo *"Arr"* como el que más contribuye a esta variabilidad.

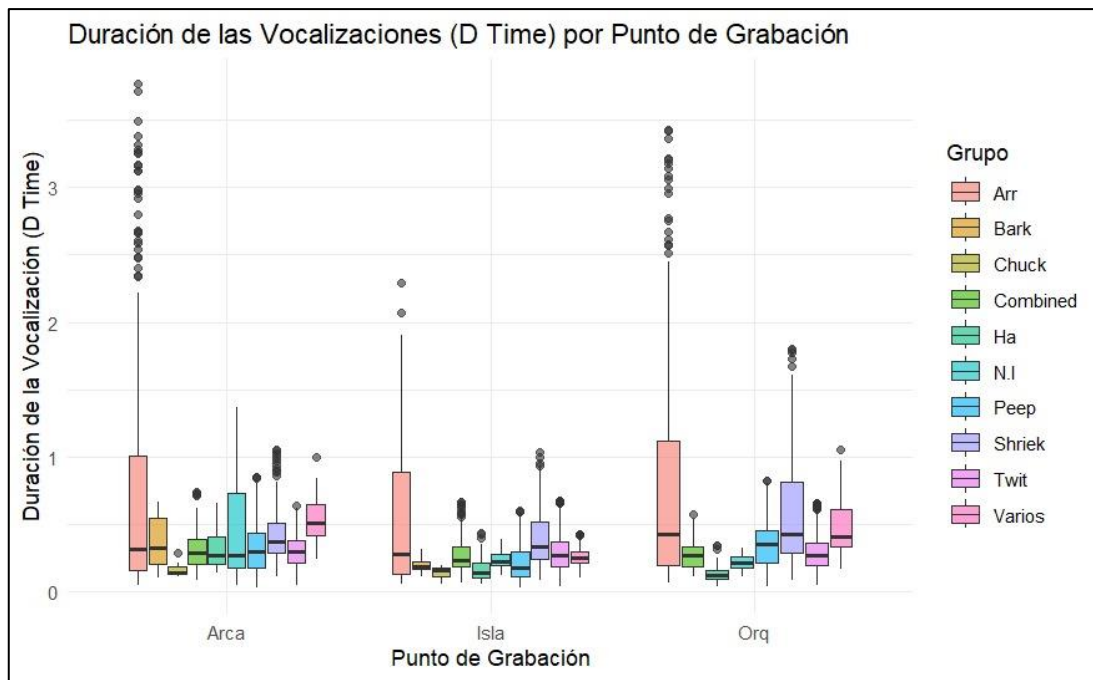


**Figura 3-3.** Comparación de las medias de la duración de las vocalizaciones entre los sitios de grabación.

### 3.1.3 Análisis de Componentes Principales de las vocalizaciones.

En el análisis de componentes principales (PCA) realizado sobre las vocalizaciones de los monos ardilla, los primeros dos componentes principales (PC1 y PC2) explican conjuntamente el 66.51% de la varianza total, indicando que la mayor parte de la variabilidad en los datos puede ser representada en un espacio bidimensional. El PC1 explica un 36.23% y el PC2 un 30.28% de la varianza, lo que destaca su relevancia en capturar la información más significativa de las vocalizaciones.

En la figura 4-3 se observa que las variables "Delta Freq", "Max Freq", "D Time" y "H Freq" tienen una fuerte influencia en CP1 y CP2. Los grupos de vocalizaciones "Twit" y "Peep" están dispersos a lo largo del espacio de los componentes principales, sugiriendo una alta variabilidad dentro de estos grupos. El grupo "Peep" en color azul (Figura 4-3) muestra características definidas lo que facilita su identificación y diferenciación. Los grupos "Twit" y "Shriek" están más concentrados, indicando una menor variabilidad.

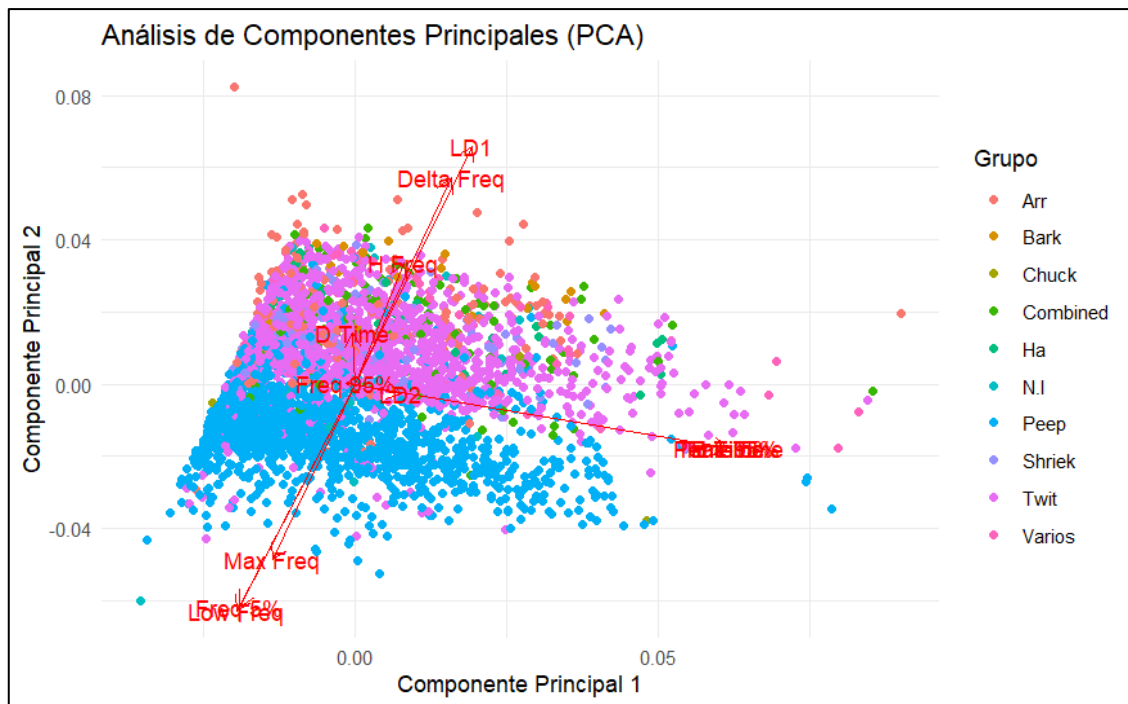


**Figura 4-3** Análisis de Componentes principales PCA general de las características acústicas en diferentes grupos de vocalizaciones de *Saimiri cassiquiarencis* provenientes de tres poblaciones en Napo, Ecuador.

Las variables relacionadas al primer componente (PC1) fueron “Max Freq”, “Low Freq”, “Freq 5%” y “Delta Freq” y las variables que más contribuyeron al segundo componente (PC2) fueron “D Time”, “H Freq” y “Freq 95%”. Las variables del PC1 relacionadas con la frecuencia son determinantes para la diferenciación entre los grupos de vocalizaciones.

Para el sitio Orquídeas observamos que los grupos de vocalizaciones "Peep" y "Twit" están bien diferenciados en el espacio de los componentes principales, sugiriendo variaciones significativas en las frecuencias y duraciones de las vocalizaciones. Las variables "Max Freq" y "Low Freq" tienen una fuerte influencia en la separación de estos grupos. Esto indica que las frecuencias máximas y bajas son factores clave en la diferenciación de las vocalizaciones en este sitio de grabación.

En Arca observamos que principalmente los grupos "Peep" y "Twit" están dispersos y mejor diferenciados, demostrando variaciones significativas en sus características acústicas. Las variables como "Max Freq", "Low Freq" y "Delta Freq" tienen una fuerte influencia en la separación de estos grupos.

Observamos para Isla que los grupos "Peep" y "Twit" están más dispersos, sugiriendo diferencias significativas en sus características acústicas. Las variables "Max Freq", "Low Freq", y "Delta Freq" tienen una influencia notable en la separación de estos grupos.

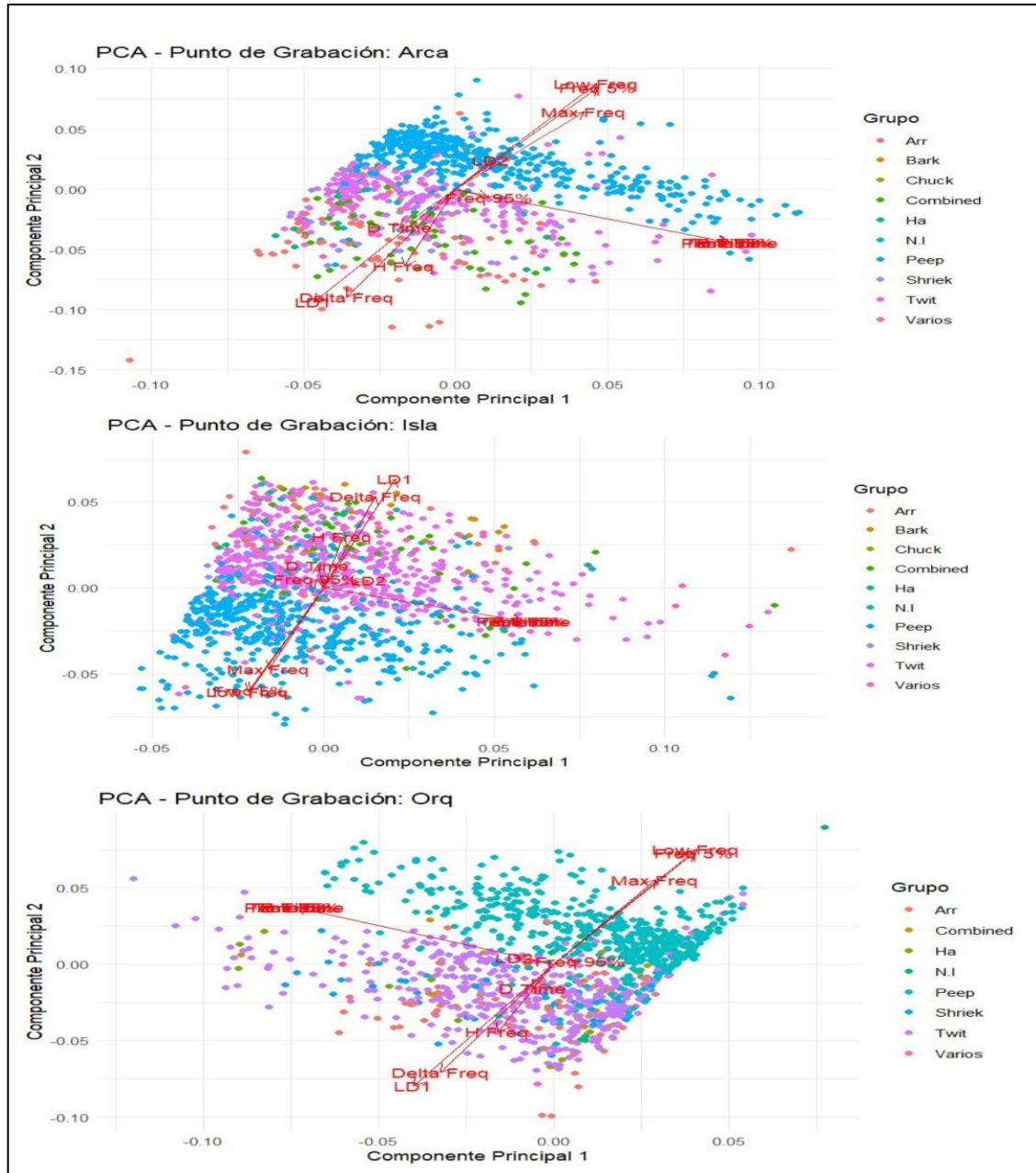


**Figura 5-3.** Análisis de Componentes principales PCA por sitio de muestreo de características acústicas en diferentes grupos de vocalizaciones de *Saimiri cassiquiarencis* provenientes de tres poblaciones en Napo, Ecuador.

### 3.1.4 Análisis para la clasificación de grupo entre las vocalizaciones por Análisis discriminante lineal (LDA).

La matriz de correlación (Tabla 2-3) nos indica que las variables temporales se encuentran altamente relacionadas, especialmente el tiempo de inicio y el tiempo final (0.99). Para las variables de frecuencia, la matriz nos muestra que las frecuencias mínimas y máximas también presentan una correlación positiva alta (0.730). La duración no mostró una alta correlación con el resto de parámetros.

**Tabla 2-3.** Matriz de correlación de las variables acústicas de las vocalizaciones del mono ardilla.

|                   | <b>B Time</b> | <b>D Time</b> | <b>H Freq</b> | <b>Low Freq</b> | <b>Freq 5 %</b> | <b>Freq 95%</b> | <b>Max Freq</b> | <b>Delta Freq</b> |
|-------------------|---------------|---------------|---------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-------------------|
| <b>B Time</b>     | 1.000         | 0.011         | 0.043         | -0.047          | -0.044          | 0.019           | -0.025          | 0.056             |
| <b>D Time</b>     | 0.011         | 1.000         | 0.178         | -0.106          | -0.084          | 0.035           | -0.039          | 0.186             |
| <b>H Freq</b>     | 0.043         | 0.178         | 1.000         | -0.264          | -0.205          | 0.747           | 0.037           | 0.876             |
| <b>Low Freq</b>   | -0.047        | -0.106        | -0.264        | 1.000           | 0.975           | 0.180           | 0.730           | -0.696            |
| <b>Freq 5%</b>    | -0.044        | -0.840        | -0.205        | 0.975           | 1.000           | 0.225           | 0.776           | -0.639            |
| <b>Freq 95%</b>   | 0.019         | 0.035         | 0.747         | 0.180           | 0.225           | 1.000           | 0.403           | 0.466             |
| <b>Max Freq</b>   | -0.025        | -0.039        | 0.037         | 0.730           | 0.776           | 0.403           | 1.000           | -0.336            |
| <b>Delta Freq</b> | 0.056         | 0.186         | 0.876         | -0.696          | -0.639          | 0.466           | -0.336          | 1.000             |

Para el análisis discriminante, las variables seleccionadas fueron "Grupo", "Delta time", "High frequency" y "Delta frequency". Se eligieron los grupos "Arr", "Peep", "Shriek" y "Twit" ya que presentaron más de 50 vocalizaciones emitidas en los tres sitios de grabación, siendo los más frecuentes y representativos (Tabla 1-3). Sin embargo, se descartó el grupo "Combined" debido a que contiene vocalizaciones combinadas.

La precisión del análisis LDA fue del 76.65% lo que indica que el modelo clasifica correctamente la mayoría de las observaciones. La matriz de confusión (Tabla 3-3) muestra que existen predicciones correctas para los grupos "Arr" (74), "Peep" (1361) y "Twit" (1088), pero presenta dificultades significativas para otros grupos, como "Chuck", "Combined", "Ha" y "N.I", donde no existieron predicciones correctas. Las clases "Arr", "Peep" y "Twit" son las más comunes y a menudo se confunden entre sí, lo que sugiere características compartidas. En contraste, las clases "Bark", "Shriek" y "Varios" también muestran confusiones notables, aunque en menor medida. En términos de porcentaje, "Arr" tuvo una tasa de clasificación correcta del 71.84%, "Peep" del 91.21% y "Twit" del 68.25%. Las confusiones más significativas se dieron entre "Arr" y "Shriek" (15.53%), "Peep" y "Twit" (6.36%), y "Twit" con varios otros grupos. Esto sugiere que las vocalizaciones de estos grupos comparten características similares, dificultando la diferenciación precisa.

**Tabla 3-3.** Matriz de confusión de las vocalizaciones del mono ardilla.

|                 | <b>Arr</b> | <b>Bark</b> | <b>Chuck</b> | <b>Combined</b> | <b>HA</b> | <b>N.I</b> | <b>Peep</b> | <b>Shriek</b> | <b>Twit</b> | <b>Varios</b> |
|-----------------|------------|-------------|--------------|-----------------|-----------|------------|-------------|---------------|-------------|---------------|
| <b>Arr</b>      | 74         | 0           | 0            | 5               | 2         | 2          | 2           | 16            | 5           | 1             |
| <b>Bark</b>     | 2          | 2           | 0            | 2               | 0         | 0          | 2           | 0             | 5           | 0             |
| <b>Chuck</b>    | 0          | 0           | 0            | 0               | 0         | 0          | 0           | 0             | 0           | 0             |
| <b>Combined</b> | 0          | 0           | 0            | 0               | 0         | 0          | 0           | 0             | 0           | 0             |
| <b>HA</b>       | 0          | 0           | 0            | 0               | 0         | 0          | 0           | 0             | 0           | 0             |
| <b>N.I</b>      | 0          | 0           | 0            | 0               | 0         | 0          | 0           | 0             | 0           | 0             |
| <b>Peep</b>     | 11         | 1           | 4            | 5               | 0         | 10         | 1361        | 12            | 95          | 3             |
| <b>Shriek</b>   | 1          | 0           | 0            | 0               | 0         | 0          | 0           | 0             | 2           | 1             |
| <b>Twit</b>     | 79         | 10          | 1            | 120             | 31        | 19         | 142         | 96            | 1088        | 62            |
| <b>Varios</b>   | 0          | 8           | 0            | 2               | 0         | 0          | 1           | 0             | 11          | 6             |

Se realizó el análisis discriminante lineal (Figura 6-3), con el fin de evaluar la separación de los grupos de vocalizaciones "Arr", "Peep", "Shriek" y "Twit". Los grupos "Peep" y "Twit" en los tres lugares de estudio muestran una clara separación, pero se encuentran

concentrados en el centro, mientras que grupos como “Arr” y “Shriek” se encuentran más dispersos.

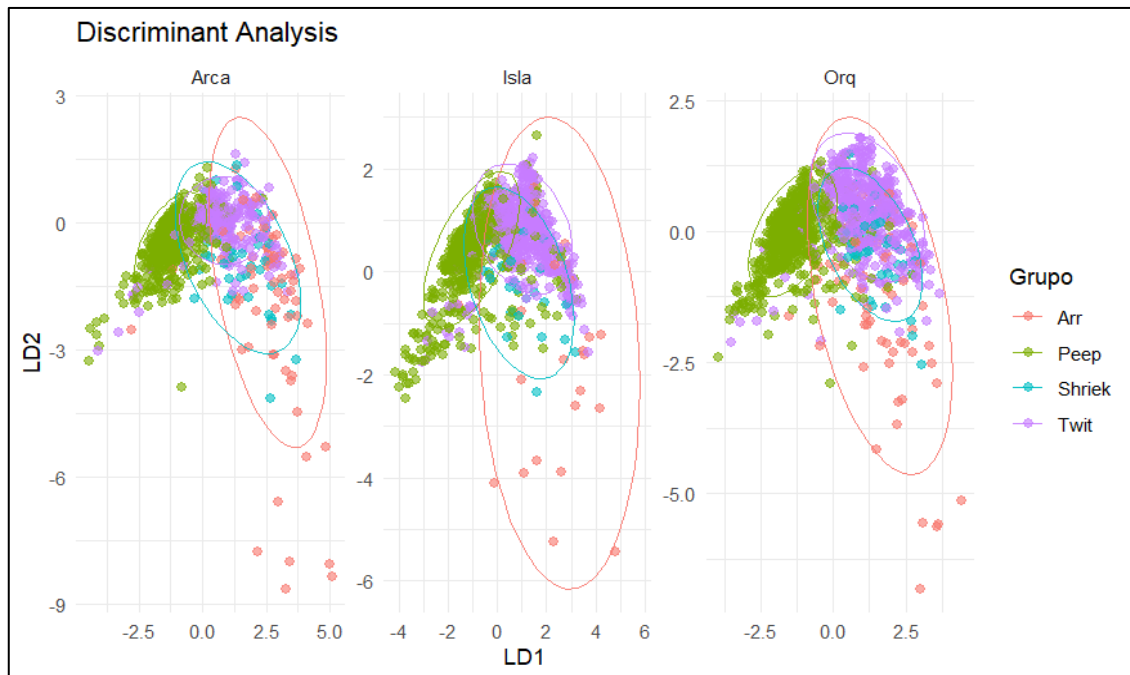


**Figura 6-3** Análisis Discriminante de vocalizaciones de monos ardilla en diferentes sitios de grabación (Arca, Isla, Orquídeas)

### 3.2 Caracterización del ruido ambiental y la complejidad acústica de los sitios de grabación en Napo, Ecuador.

#### 3.2.1 Índice de complejidad acústica y ruido ambiental

De acuerdo al gráfico de cajas de la figura 7-3 se puede observar que el valor más alto de ruido ambiental es Orquídeas con 240 dB, le sigue Isla con 220 dB y finalmente Arca alcanzando aproximadamente los 100 dB.

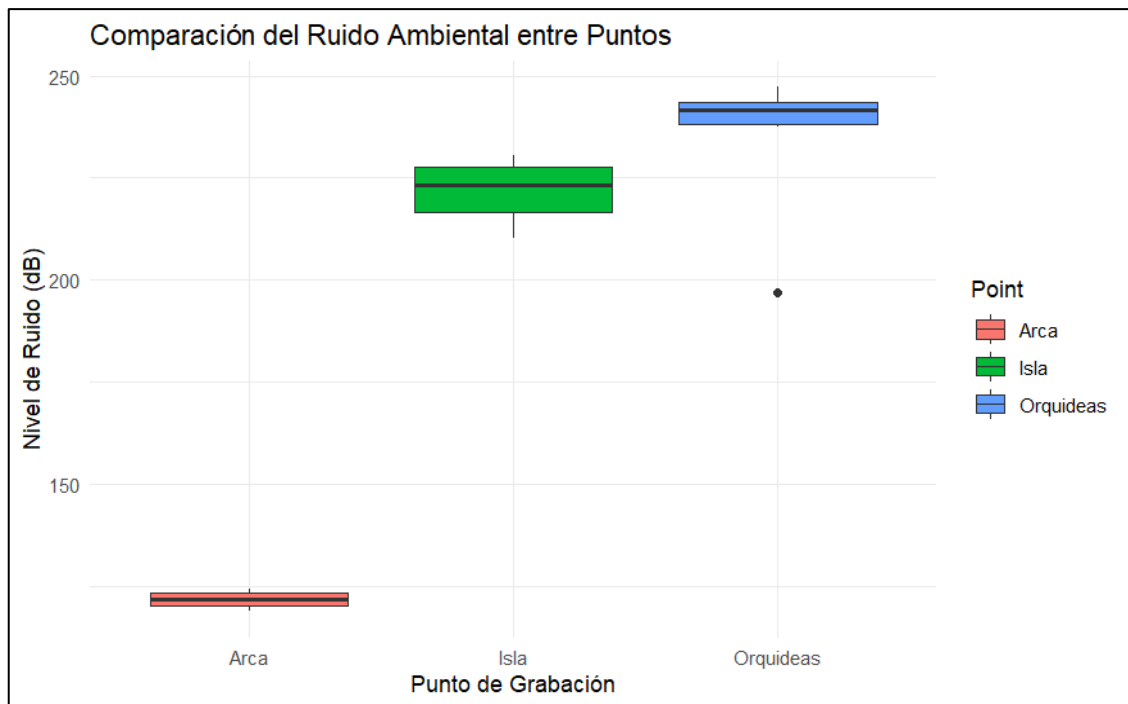


**Figura 7-3** Comparación de las medianas de los niveles de ruido ambiental entre los sitios Arca, Isla y Orquídeas, Napo, Ecuador.

La figura 8-3 nos muestra la variación del ACI entre los diferentes sitios, en el que podemos observar que Arca posee un valor alto y con mayor dispersión lo que sugiere una mayor diversidad acústica, seguido de Orquídeas, y finalmente Isla con el valor más bajo.

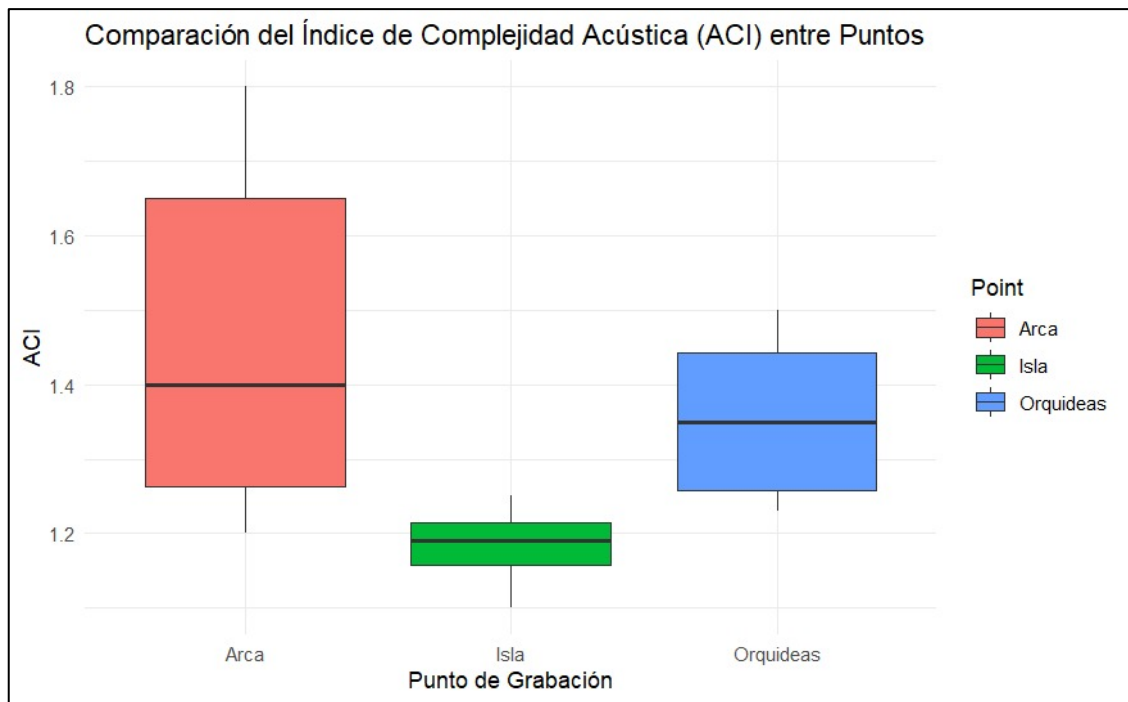


**Figura 8-3.** Comparación de las medianas del Índice de Complejidad Acústica entre los sitios de grabación Arca, Isla y Orquídeas, Napo, Ecuador.

De acuerdo a la correlación de Pearson entre el ruido ambiental y el índice de complejidad acústica la correlación es de -0.36 lo que indica una relación negativa moderada, esto sugiere que a medida que el nivel de ruido ambiental aumenta el ACI disminuye o viceversa.

El análisis lineal generalizado nos expresa que el nivel del ruido ambiental y el sitio de grabación afectan el índice de complejidad, en Isla el ACI es significativamente menor que en Arca ( $p = 0.0312$ ) mientras que en Orquídeas muestra una tendencia a un ACI menor que en Arca, pero no significativo ( $p = 0.0816$ ).

### **3.3 Comparación de las diferencias en la frecuencia máxima analizada con un modelo lineal generalizado mixto (GLMM).**

Se realizó un modelo lineal generalizado mixto (GLMM) para analizar la variación de las vocalizaciones de los monos ardilla en los tres lugares de estudio. Los resultados del GLMM para la frecuencia máxima sugieren que, comparado con el intercepto, la mayoría de los grupos de vocalización tienden a presentar un efecto negativo

significativo en la frecuencia máxima. Los efectos aleatorios (características acústicas) indican que hay una variabilidad considerable entre los sitios de grabación, lo que sugiere que la localización tiene un impacto importante en las vocalizaciones.

La mayoría de los grupos de vocalización tienden a disminuir la frecuencia máxima en comparación con el intercepto (Tabla 4-3), que representa la frecuencia máxima base. Los efectos negativos varían en magnitud, siendo el grupo “Peep” el que presenta la mayor reducción. El único grupo que muestra un efecto positivo es el grupo “Bark”. Estos resultados sugieren que la pertenencia a un grupo específico de vocalización tiene un impacto significativo en la frecuencia máxima, lo que puede reflejar diferencias en la estructura acústica y funcionalidad de las vocalizaciones entre los diferentes grupos.

**Tabla 4-3.** Efecto aleatorio sobre el intercepto de los grupos de vocalizaciones del mono ardilla.

| Intercepto | Efecto aleatorio |
|------------|------------------|
| Arr        | 15521.3324       |
| Bark       | 926.7928         |
| Chuck      | -5770.2178       |
| Combined   | -4285.5071       |
| Ha         | -5628.8359       |
| N.I        | -1894.3649       |
| Peep       | -11942.9669      |
| Shriek     | -2632.3138       |
| Twit       | -6027.7478       |
| Varios     | -1839.6895       |

Los resultados de los valores del intercepto para “Delta Frequency” nos muestra que las diferencias en la frecuencia máxima varían según el sitio de grabación (Tabla 5-3). El sitio de grabación Arca tiene un efecto negativo, reduciendo la frecuencia máxima. Mientras que Isla también presenta un efecto negativo, aunque menor. En contraste, el sitio de

grabación Orquídea muestra un efecto positivo significativo, aumentando la frecuencia máxima en 589.6479 unidades. Estas diferencias sugieren que las frecuencias máximas no solo dependen de los grupos de vocalización, sino también de las características específicas de cada sitio de grabación.

**Tabla 5-3.** Variación de la frecuencia máxima en relación con los sitios de grabación de las vocalizaciones del mono ardilla.

| Sitio     | Intercepto | Std. Error | T value |
|-----------|------------|------------|---------|
| Arca      | -395.3717  | 1181.56    | 9.489   |
| Isla      | -194.2762  | 90.62      | 2.278   |
| Orquídeas | 589.6479   | 90.49      | 11.038  |

Los efectos aleatorios (características acústicas) respecto al intercepto indican mínimas variaciones en la duración ("Delta time") de las vocalizaciones entre los sitios de grabación. El sitio de grabación "Arca" tiene una estimación positiva respecto al intercepto (0.03753940), mientras que "Isla" tiene una estimación negativa (-0.06311704) y "Orquídeas" una estimación ligeramente positiva (0.02557763). Estos resultados sugieren que, además de las diferencias entre los grupos de vocalización, también existen diferencias mínimas en la duración de las vocalizaciones que dependen del sitio de grabación.

## CAPITULO IV: DISCUSIÓN

Las vocalizaciones en los monos ardilla son primordiales en entornos ruidosos (Waser & Waser, 1977) debido a su alta frecuencia, corta duración y rápida emisión, lo que explicaría que sean las vocalizaciones con mayor registro principalmente en “Orquídeas” e “Isla”. En este trabajo, se identifican que justamente las vocalizaciones más frecuentes fueron “Peep”, “Twit”, “Arr”, “Combined” y “Shriek”.

La ausencia de vocalizaciones tipo “Chuck” y “Bark” en Orquídeas podría estar relacionada con el alto nivel de ruido ambiental que interfiere con la emisión o detección de estas señales. Estudios anteriores como el de Winter et al. (1966), que registraron 250 señales y describieron 26 tipos de vocalizaciones en cautiverio, y su posterior estudio en 2010, donde identificaron solamente un nuevo tipo en libertad, sugieren que ciertos tipos de vocalizaciones pueden estar suprimidos en entornos con alto ruido. Schott (1975) estudió el repertorio vocal de 19 individuos en un ambiente controlado para disminuir ruidos y clasificó 52 tipos de vocalizaciones en seis grupos.

Por otro lado, Boinski y Newman (1988) realizaron un análisis preliminar de vocalizaciones de *Saimiri oerstedii* y *Saimiri citrinellus* en libertad, describiendo nuevos subtipos de twitter (dog-tooth twitter) y de chuck (bent-mask chuck) no registrados en cautividad. Boinski (1991) analizó 3080 señales, clasificándolas en cuatro nuevos grupos y 16 subtipos. Estos estudios subrayan la importancia del contexto ambiental en la emisión y detección de diferentes tipos de vocalizaciones. En este estudio se identificaron varios tipos de llamadas combinadas que no se encuentran clasificadas en ningún repertorio, además se registraron vocalizaciones traslapadas, es decir señales emitidas por varios individuos al mismo tiempo, y varias no identificadas. La ausencia de una clara separación entre vocalizaciones gradadas, como señala Schott (1975), es un motivo por el cual el modelo de análisis discriminante tiene dificultades para diferenciar correctamente algunos grupos de vocalizaciones. Esto explicaría por qué el modelo de análisis discriminante tiene problemas para diferenciar grupos como “Chuck”,

"Combined", "Ha" y "N.I", mientras que tenía una mejor precisión para grupos mayormente diferenciados como "Arr", "Peep", "Shriek" y "Twit".

Se encontraron llamadas gradadas en los tres sitios de grabación, mayormente en Isla, en las que las vocalizaciones se transformaban suavemente en otra llamada completamente diferente. La combinación de las vocalizaciones aporta complejidad, flexibilidad, variabilidad y facilidad para comunicar una amplia gama de emociones que se adaptan al entorno en el que se encuentran, permitiendo una transmisión de información más efectiva (Schott, 1975). La presencia de un gran nivel de ruido ambiental podría intensificar la necesidad de estas vocalizaciones gradadas, ya que la superposición y variabilidad continua permiten a los individuos ajustar sus señales acústicas para mejorar la comunicación en entornos ruidosos.

En cuanto a las variables, el análisis de componentes principales nos permitió identificar los principales parámetros que aportan a la variabilidad de los datos. Los resultados mostraron que las frecuencias, en especial la frecuencia máxima, contribuyen más a la versatilidad de las vocalizaciones, mientras que la duración presenta una menor variabilidad. Estos resultados sugieren que la frecuencia ("H. freq") es un factor crucial para la diferenciación entre grupos de vocalizaciones y los sitios de grabación.

Los resultados del ruido ambiental y el Índice de Complejidad Acústica (ACI) revelaron diferencias significativas en los valores entre los diferentes sitios de grabación. Orquídeas presenta los valores de ruido ambiental más altos, seguido por Isla y finalmente por Arca. Orquídeas es un sitio turístico que presenta diversidad de ruidos antrópicos como ruido vehicular, música diaria, equipos y artefactos además de las vocalizaciones propias de las personas. Isla es un bioparque que se encuentra en el malecón en el centro de la ciudad. Arca, por su parte, es un zoológico con gran cantidad de especies y una gran afluencia de visitantes. Por otro lado, Arca es el sitio que expone la mayor complejidad acústica, luego Orquídea y finalmente Isla. Esto podría deberse a que, de acuerdo a la correlación de Pearson entre el ruido ambiental y el índice de complejidad acústica, mientras el nivel de ruido aumenta el ACI disminuye o viceversa,

lo que implicaría que los ambientes más ruidosos podrían estar asociados con una menor complejidad de vocalizaciones sutiles debido a la interferencia del ruido, por causa de las características de cada sitio (Obando, 2005).

Sin embargo, el GLM nos indica que ACI se ve afectado por el ruido y el sitio de grabación, el hecho de que en Arca no exista un alto nivel de ruido y sea un zoológico con diferentes especies, principalmente aves y otros mamíferos, vocalizando a lo largo del día explicaría su alta complejidad acústica. Para Orquídeas ocurriría lo contrario, al estar solo los *Saimiri* vocalizando pero que exista un alto nivel de ruido reduciría la precisión del índice de complejidad acústica y podría estar confundiendo la diversidad acústica con ruido ambiental.

Los análisis de modelos lineales generalizados mixtos (GLMM) demostraron que grupos de vocalizaciones como “*Peep*” y “*Twit*” tienen frecuencias significativamente diferentes en comparación con grupos como “*Chuck*” y “*Ha*”. No obstante, no se encontró una diferencia significativa en la duración de las vocalizaciones según el sitio de grabación. Esto podría deberse a que las vocalizaciones de los monos ardilla son de corta duración y no poseen llamadas de larga duración o “long calls” en su repertorio (Oliveira & Ades, 2004).

Según Zimmermann (1995), las especies pequeñas tienden a realizar llamadas de frecuencia alta, duración corta y alta tasa de repetición debido a su morfología. Además, Snowden (1989) expuso que los monos del Nuevo Mundo poseen llamadas cortas y de alta frecuencia para evitar exponer su ubicación a depredadores. Estas características morfológicas y comportamentales podrían explicar por qué no se observaron diferencias significativas en la duración de las vocalizaciones, independientemente del sitio de grabación. Por consiguiente, la frecuencia emerge como el parámetro clave que varía en respuesta a las condiciones ambientales y las características específicas de cada sitio de grabación, apoyando su relevancia en la diferenciación de las vocalizaciones.

Los efectos aleatorios (características acústicas) por sitio de grabación mostraron que las vocalizaciones en Orquídeas tienden a tener frecuencias más altas en comparación con Arca e Isla, reflejando posiblemente diferencias de ruido ambientales o de comportamiento de las especies en estos sitios. El enmascaramiento de las señales acústicas en la comunicación de los monos ardilla, en especial del sitio Orquídeas, podría generar un efecto Lombard que de acuerdo con Hotchkin y Parks (2013) es una respuesta adaptativa de los primates en la que aumentan la frecuencia y duración de sus vocalizaciones en respuesta al ruido ambiental.

Los resultados de este estudio (Tabla 5-3) indican que el ruido ambiental tiene un impacto significativo en las frecuencias de las vocalizaciones de los monos ardilla, especialmente en entornos intervenidos como Orquídeas e Isla. La adaptación de las frecuencias de las llamadas en respuesta al ruido sugiere que estos primates ajustan su comunicación para mantener la efectividad en entornos ruidosos. Estos hallazgos destacan la importancia de considerar el ruido ambiental en estudios de comunicación animal y la necesidad de investigaciones adicionales para explorar las complejas interacciones entre el ruido antropogénico y la comunicación vocal de especies, lo que permitirá desarrollar estrategias de conservación más efectivas y una mejor comprensión de cómo las especies se adaptan a los cambios en su entorno acústico.

Estos resultados destacan la importancia de considerar tanto el ruido ambiental como las características específicas de las vocalizaciones en estudios de ecología acústica. La variabilidad en el ACI y el nivel de ruido entre los sitios de grabación sugiere que los animales pueden adaptar sus vocalizaciones para maximizar la eficacia de la comunicación en diferentes ambientes. Por ejemplo, en ambientes con altos niveles de ruido, como Orquídeas, las vocalizaciones pueden volverse más simples y con frecuencias más altas para asegurar que los mensajes sean recibidos claramente.

Además, el hecho de que diferentes grupos de vocalización presenten frecuencias máximas distintas puede estar relacionado con la necesidad de evitar la interferencia de sonidos ambientales o de otras especies, facilitando así una comunicación efectiva. Este

tipo de adaptación acústica es crucial para la supervivencia y reproducción de las especies, ya que permite la transmisión de información vital en entornos desafiantes.

En resumen, nuestros hallazgos proporcionan una visión integral de cómo las características acústicas y los niveles de ruido ambiental varían entre diferentes sitios de grabación y tipos de vocalizaciones. Estos resultados no solo mejoran nuestra comprensión de la ecología acústica, sino que también pueden informar estrategias de conservación y manejo de hábitats, asegurando que los ambientes naturales sean propicios para la comunicación efectiva de las especies.

## CAPÍTULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

El repertorio vocal de los *Saimiri* es complejo y cumple funciones esenciales en la estructura social y la supervivencia de la especie. La variabilidad de las llamadas refleja la riqueza de su comunicación vocal, adaptándose a diferentes contextos sociales y ambientales. Los repertorios vocales pueden variar entre poblaciones de monos ardilla en diferentes regiones, reflejando modificaciones vocales a distintas condiciones ambientales. Las vocalizaciones en los monos ardilla son fundamentales en entornos ruidosos, lo cual se reflejó en la predominancia de vocalizaciones como "Peep", "Twit", "Arr", "Combined" y "Shriek" en los sitios de "Orquídeas" e "Isla". Las vocalizaciones de alta frecuencia y corta duración prevalecen en estos entornos, indicando su adaptabilidad a contextos ruidosos.

Las vocalizaciones de los monos ardilla en los tres sitios de grabación fueron caracterizadas exitosamente, identificando que las más frecuentes fueron "Peep", "Twit", "Arr", "Combined" y "Shriek". El análisis demostró que las vocalizaciones de alta frecuencia, corta duración y rápida emisión son predominantes, especialmente en los sitios "Orquídeas" e "Isla", probablemente debido a la necesidad de comunicarse eficazmente en entornos ruidosos. Se identificaron diferencias significativas en los niveles de ruido ambiental entre los sitios, con "Orquídeas" presentando los niveles más altos, seguido por "Isla" y "Arca". Esta variabilidad en el ruido ambiental afecta la complejidad acústica (ACI), siendo "Arca" el sitio con mayor ACI debido a su menor ruido ambiental y diversidad de especies vocalizando.

La comparación de las vocalizaciones entre los tres sitios reveló que las frecuencias y duraciones de las vocalizaciones están significativamente influenciadas por los niveles de ruido ambiental. Las vocalizaciones en "Orquídeas" mostraron frecuencias más altas, reflejando una posible adaptación al entorno ruidoso para mantener la efectividad de la comunicación. En contraste, "Arca", con menor ruido ambiental, presentó una mayor complejidad acústica y frecuencias más bajas. El análisis de componentes principales

(PCA) y el modelo lineal generalizado mixto (GLMM) demostraron que las frecuencias, especialmente la frecuencia máxima, son cruciales para diferenciar las vocalizaciones entre los sitios y grupos, mientras que la duración mostró menor variabilidad. Estos hallazgos sugieren que los monos ardilla ajustan sus vocalizaciones en respuesta al ruido ambiental, adaptándose para maximizar la eficacia de la comunicación en diferentes entornos.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Amici, F. (2023). Comportamiento social de los primates: Ventajas, retos y diversidad de relaciones. *Metode Science Studies Journal*. <https://doi.org/10.7203/metode.14.25454>
- Ariza, R. (2021). *Sinfonía Llanera: Diversidad Acústica En Un Gradiente De Intervención Humana En Coroza, Yopal*. 1–34.
- Boinski, S., & Newman, J. D. (1988). Preliminary observations on squirrel monkey (*Saimiri oerstedii*) vocalizations in Costa Rica. *American Journal of Primatology*, 14(4), 329–343. <https://doi.org/10.1002/ajp.1350140403>
- Boinski, Sue. (1991). The coordination of spatial position: a field study of the vocal behaviour of adult female squirrel monkeys. *Animal Behaviour*, 41(1), 89–102. [https://doi.org/10.1016/S0003-3472\(05\)80505-6](https://doi.org/10.1016/S0003-3472(05)80505-6)
- Boinski, S. (1996). Vocal Coordination of Troop Movement in Squirrel Monkeys (*Saimiri oerstedii* and *S. sciureus*) and White-Faced Capuchins (*Cebus capucinus*). In: Norconk, M.A., Rosenberger, A.L., Garber, P.A. (eds) *Adaptive Radiations of Neotropical Primates*. Springer, Boston, MA. [https://doi.org/10.1007/978-1-4419-8770-9\\_15](https://doi.org/10.1007/978-1-4419-8770-9_15)
- Brandes, T. S. (2008). Feature vector selection and use with hidden markov models to identify frequency-Modulated bioacoustic signals amidst noise. *IEEE Transactions on Audio, Speech and Language Processing*, 16(6), 1173–1180. <https://doi.org/10.1109/TASL.2008.925872>
- Briggs, F., Lakshminarayanan, B., Neal, L., Fern, X. Z., Raich, R., Hadley, S. J. K., Hadley, A. S., & Betts, M. G. (2012). Acoustic classification of multiple simultaneous bird species: A multi-instance multi-label approach. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 131(6), 4640–4650. <https://doi.org/10.1121/1.4707424>
- Barbosa Caselli C, Romano V, Ruiz-Miranda CR & R Grassetto Teixeira da Cunha (2018) Las voces de los primates neotropicales: ¿qué dicen? En: Urbani B, Kowalewski M, Cunha RGT, de la Torre S & L Cortés-Ortiz (eds.). *La primatología en Latinoamérica 2 – A primatologia na America Latina 2*. Tomo I Argentina-Colombia. Ediciones IVIC. Instituto Venezolano de Investigaciones Científicas (IVIC). Caracas, Venezuela. Pp. 267-281
- Caycedo-Rosales, P. C., Ruiz-Muñoz, J. F., & Orozco-Alzate, M. (2013). Reconocimiento automatizado de señales bioacústicas: Una revisión de métodos y aplicaciones. *Ingeniería y Ciencia*, 9(18), 171–195. <https://doi.org/10.17230/ingciecia.9.18.10>
- Chavez, N. (2020). *Tesis*. [https://repositorio.uatx.mx:8443/handle/DSyTI\\_UATx/630](https://repositorio.uatx.mx:8443/handle/DSyTI_UATx/630)
- Cornell Lab of Ornithology – Cornell University – Interactive Sound Analysis Software. (2022). <https://www.ravensoundsoftware.com/>
- Fichtel, C., Hammerschmidt, K., & Jürgens, U. (2000). on the Vocal Expression of Emotion. *Methods*, 97–116.
- Fischer, J., Noser, R., & Hammerschmidt, K. (2013). Bioacoustic field research: A primer to acoustic

- analyses and playback experiments with primates. *American Journal of Primatology*, 75(7), 643–663. <https://doi.org/10.1002/ajp.22153>
- Fleagle, J. G. (2013). New World Anthropoids. *Primate Adaptation and Evolution*, 89–118. <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-378632-6.00005-7>
- Galindo, M., & Ortíz, M. (2018). *CICI\_2020\_paper\_121*. 1–4.
- Hammerschmidt, K., Freudenstein, T., & Jürgens, U. (2001). Vocal development in squirrel monkeys. *Behaviour*, 138(9), 1179–1204. <https://doi.org/10.1163/156853901753287190>
- Hotchkin, C., & Parks, S. (2013). The Lombard effect and other noise-induced vocal modifications: Insight from mammalian communication systems. *Biological Reviews*, 88(4), 809–824. <https://doi.org/10.1111/brv.12026>
- Huang, C. J., Yang, Y. J., Yang, D. X., & Chen, Y. J. (2009). Frog classification using machine learning techniques. *Expert Systems with Applications*, 36(2 PART 2), 3737–3743. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2008.02.059>
- Jürgens, U. (2009). The Neural Control of Vocalization in Mammals: A Review. *Journal of Voice*, 23(1), 1–10. <https://doi.org/10.1016/j.jvoice.2007.07.005>
- Ligges, U., Krey, S., Mersmann, O., Schnackenberg, S., Guénard, G., Ellis, D. P. W., Technologies, U., Preusser, A., Thieler, A., Mielke, J., Weihs, C., Ripley, B. D., & Heymann, M. (2024). *Package ‘tuneR*
- Lozano, A., Farina, A., & Márquez, R. (2014). ACI (Acoustic Complexity Index): Nueva herramienta para el estudio del canto de anuros. *Quehacer Científico en Chiapas*, 9(2), 17–27.
- MAATE. (2015). Libro VI Anexo 5 TULSMA. Límites permisibles de niveles de ruido ambiente para fuentes fijas y fuentes móviles, y para vibraciones, 416–428
- Merchán, C. (2014). *Evaluación del ruido ambiental en espacios naturales protegidos: implicaciones para su gestión*.
- Miranda, C. R. R., Savage, A., & Sánchez, F. F. (2023). *Introducción: Monitoreo Acústico Activo y Pasivo*. 29(June). <https://primate.socgen.ucla.edu/index.php/multivitaminic/article/view/784/749>
- Muñoz, R. (2014). Bienestar animal. *Spei Domus*, 10(20), 31–40. <https://doi.org/10.16925/sp.v10i20.884>
- Obando, G. (2005). Implicaciones del ruido producido por humanos en las aves silvestres. *Boletín de la Asociación Ornitológica de Costa Rica*.
- Oliveira, D. A. G., & Ades, C. (2004). Long-distance calls in Neotropical primates. *Anais da Academia Brasileira de Ciencias*, 76(2), 393–398. <https://doi.org/10.1590/s0001-37652004000200031>
- Paim, F & Queiroz, H. lima de. (2009). Diferenças nos Parâmetros Acústicos das Vocalizações de Alarme das Espécies de Saimiri Voigt, 1831 (Primates, Cebidae) na Floresta de Várzea – Reserva Mamirauá. *Uakari*, 5(1), 49–60.
- Parra, J. P., & Estrada, G. E. (2011). Behavioral patterns of the squirrel monkey (*Saimiri sciureus macrodon*) captive with different environmental enrichment. *Revista CES Medicina Veterinaria y Zootecnia*, 6(2), 30–43.
- Paulo-Morelo, M., & Sánchez-Palomino, P. (2021). Description of the phonetic units and phonological

- syntax of vocal repertoire of wild cotton-top tamarin (*Saguinus oedipus*). *Biota Colombiana*, 22(1), 184–199. <https://doi.org/10.21068/C2021.V22N01A12>
- Ponce-Santizo, G., & Andresen, E. (2006). ´ Primaria de Semillas por Primates y Dispersion ´ Secundaria por Escarabajos Dispersion Coprofagos. *Biotropica*, 38(3), 390–397.
- Pulido, R. C. (2015). La ecología del paisaje sonoro de la ciudad: un aporte a la sostenibilidad urbana. *Dearq*, 16, 90–103. <https://doi.org/10.18389/dearq16.2015.06>
- R Core Team. (2024). R: A language and environment for statistical computing (Version 4.3.3) [Computer software]. R Foundation for Statistical Computing. <https://www.R-project.org/>
- Schott, D. (1975). Quantitative Analysis of the Vocal Repertoire of Squirrel Monkeys (*Saimiri sciureus*). *Zeitschrift für Tierpsychologie*, 38(3), 225–250. <https://doi.org/10.1111/j.1439-0310.1975.tb02002.x>
- Smith, H. J., Newman, J. D., Bernhards, D. E., & Symmes, D. (1983). Effects of reproductive state on vocalizations in squirrel monkeys (*Saimiri sciureus*). *Folia Primatol (Basel)*. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/6685097/>
- Smith, H. J., Newman, J. D., Hoffman, H. J., & Fetterly, K. (1982). Statistical discrimination among vocalizations of individual squirrel monkeys (*Saimiri sciureus*). *Folia Primatol (Basel)*. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/7076057/>
- Snowdon, C. T. (1989). Vocal communication in New World monkeys. *Journal of Human Evolution*, 18(7), 611–633. [https://doi.org/10.1016/0047-2484\(89\)90097-3](https://doi.org/10.1016/0047-2484(89)90097-3)
- Solórzano, M. F., Cervera, L., Álvarez-Solas, S., De la Torre, S., & Tirira, D. G. (2018). Mono ardilla de Humboldt *Saimiri cassiquiarensis* Lesson, 1840. *Estado de conservación de los primates del Ecuador*, 88–95.
- Soltis, J., Bernhards, D., Donkin, H., & Newman, J. D. (2002). Squirrel monkey chuck call: Vocal response to playback chucks based on acoustic structure and affiliative relationship with the caller. *American Journal of Primatology*, 57(3), 119–130. <https://doi.org/10.1002/ajp.10039>
- Stone, A. I. (2017). Cebids (Cebinae). *The International Encyclopedia of Primatology*, 1–3. <https://doi.org/10.1002/9781119179313.wbprim0076>
- Sueur, J., Aubin, T., & Simonis, C. (2008). Equipment review: Seewave, a free modular tool for sound analysis and synthesis. *Bioacoustics*, 18(2), 213–226. <https://doi.org/10.1080/09524622.2008.9753600>
- Tirira, D. (2013). Tráfico de primates nativos en el Ecuador. *Boletín Técnico. Serie Zoológica.*, 11(8–9), 36–57. [https://journal.espe.edu.ec/ojs/index.php/revista-serie-zoologica/article/view/1455%0Ahttps://www.researchgate.net/profile/Diego\\_Tirira/publication/320471475\\_Trafico\\_de\\_primates\\_nativos\\_en\\_el\\_Ecuador/links/59e760890f7e9bed362be98f/Trafico-de-primates-nati](https://journal.espe.edu.ec/ojs/index.php/revista-serie-zoologica/article/view/1455%0Ahttps://www.researchgate.net/profile/Diego_Tirira/publication/320471475_Trafico_de_primates_nativos_en_el_Ecuador/links/59e760890f7e9bed362be98f/Trafico-de-primates-nati)
- Tirira, D., De la Torre, S., & Zapata, G. (2018). *Primates del ecuador*.
- Torres, C. (2005). Comunicación vocal en dos grupos cautivos y uno en vida libre de mono ardilla (. En *Pontificia Universidad Javeriana*.

- Waser, P. M., & Waser, M. S. (1977). Experimental Studies of Primate Vocalization: Specializations for Long-distance Propagation. *Zeitschrift für Tierpsychologie*, 43(3), 239–263. <https://doi.org/10.1111/j.1439-0310.1977.tb00073.x>
- Winter, P., Ploog, D., & Latta, J. (1966). Vocal repertoire of the squirrel monkey (*Saimiri sciureus*), its analysis and significance. *Experimental Brain Research*, 1(4), 359–384. <https://doi.org/10.1007/BF00237707>
- Zimmermann, E. (1995). Acoustic Communication in Nocturnal Prosimians. *Creatures of the Dark*, 311–330. [https://doi.org/10.1007/978-1-4757-2405-9\\_19](https://doi.org/10.1007/978-1-4757-2405-9_19)