

Anfibios en áreas no protegidas: evaluando la diversidad, microhábitats y amenazas en tres biomas de la zona de amortiguamiento del Parque Nacional Natural Tamá, Norte de Santander, Colombia

Laura Juliana Ortiz Pacheco

Trabajo de Grado para Optar al Título de Bióloga

Director

Aldemar Alberto Acevedo Rincón

Doctor en Ecología

Codirector

Carlos Herney Cáceres Martínez

Magíster en Bosques y Conservación Ambiental

Universidad Industrial de Santander

Facultad de Ciencias

Escuela de Biología

Biología

Bucaramanga

2024

Dedicatoria

A mi mamá, por ser mi lugar seguro y dar los mejores consejos.

A mi papá, por recordarme que debo ver la vida con alegría, entusiasmo y optimismo.

A mis hermanos, por ser los mejores compañeros, que a pesar de la distancia siempre buscan la manera de estar presentes.

Agradecimientos

Agradezco a mi director Aldemar Acevedo, por confiar en mí y darme la oportunidad de ser parte del proyecto: Plan de acción por los anfibios en el nordeste colombiano: diez años de monitoreo e investigación, financiado por Conservation Leadership Programme. A mi codirector Carlos Cáceres, por brindarme su ayuda cada vez que lo necesite.

A mis compañeros de proyecto por cada una de las risas, caídas, caminatas y días de muestreo en campo compartidos.

A las comunidades rurales de Toledo, por abrirme las puertas, compartir sus conocimientos conmigo y acogerme en su casa de la manera más linda y desinteresada, mil gracias por permitirme conocer las montañas a las que llaman hogar.

A Val, el hermano para toda la vida que me regaló la universidad, gracias por ser mi compañía en los días de campo, las noches de estudio y compartir conmigo el amor por esta carrera.

Y cada una de las personas que he conocido y me han acompañado en todos estos años en diferentes situaciones, mil gracias.

Tabla de contenido

Introducción	12
1. Objetivos	15
1.1 Objetivo General	15
1.2 Objetivos Específicos.....	15
2. Materiales y métodos	16
2.1 Área de muestreo	16
2.2 Diseño de muestreo y diversidad de anfibios	17
2.3 Caracterización de microhábitat	19
2.4 Amenazas y nivel de intervención	21
2.5 Análisis estadísticos	21
2.5.1 Objetivo 1: Diversidad de especies.....	21
2.5.2 Objetivo 2: Caracterización de microhábitat	22
3. Resultados	23
3.1 Diversidad	23
3.1.1 Diversidad Alfa.....	23
3.1.2 Diversidad Beta.....	29
3.2 Caracterización Microhábitat.....	31
3.2.1 Análisis correspondencia canónica (CCA)	32
3.2.1.1 Bioma alto andino	32
3.2.1.2 Bosque andino.....	35
3.2.1.3 Páramo	37
3.2.2 Gráfico densidad	39

3.2.2.1 Bosque alto andino.....	39
3.2.2.2 Bosque andino.....	41
3.2.2.3 Páramo	42
3.2.3 Red bipartite.....	43
3.2.3.1 Bosque alto andino.....	43
3.2.3.2 Bosque andino.....	45
3.2.3.3 Páramo	47
3.3 Amenazas antrópicas	49
4. Discusión.....	51
5. Conclusiones	63
Referencias bibliográficas.....	64
Apéndices.....	74

Lista de tablas

Tabla 1. <i>Localidades zonas de amortiguamiento del PNN Tamá</i>	16
Tabla 2. <i>Variables para la caracterización del microhábitat</i>	19
Tabla 3. <i>Lista de especies registradas en cada uno de los biomas muestreados</i>	24
Tabla 4. <i>Diversidad alfa analizada para cada uno de los biomas muestreados en las zonas de amortiguamiento del PNN Tamá</i>	27
Tabla 5. <i>Índice de disimilitud de Jaccard</i>	30
Tabla 6. <i>Índices red bipartite bosque alto andino</i>	45
Tabla 7. <i>Índices red bipartite bosque andino</i>	46
Tabla 8. <i>Índices red bipartite páramo</i>	48

Lista de figuras

Figura 1. <i>Mapa zonas de muestreo</i>	17
Figura 2. <i>Representatividad de las familias de anuros en las zonas de amortiguamiento del PNN Tamá</i>	25
Figura 3. <i>Diversidad de especies para cada uno de los biomas muestreados</i>	27
Figura 4. <i>Curvas de rango-abundancia para cada uno de los biomas</i>	29
Figura 5. <i>Análisis de coordenadas principales (PCoA) con base en distancia de Jaccard</i>	30
Figura 6. <i>Análisis correspondencia canónica bosque alto andino</i>	32
Figura 7. <i>Matriz correlación bosque alto andino</i>	34
Figura 8. <i>Análisis de correspondencia canónica bosque andino</i>	35
Figura 9. <i>Matriz de correlación bosque andino</i>	37
Figura 10. <i>Análisis de correspondencia canónica de páramo</i>	38
Figura 11. <i>Matriz de correlación de páramo</i>	39
Figura 12. <i>Relación entre las variables micro climáticas respecto a la abundancia de especies del bosque alto andino</i>	40
Figura 13. <i>Relación entre las variables micro climáticas respecto a la abundancia de especies del bosque andino</i>	41
Figura 14. <i>Relación entre las variables micro climáticas respecto a la abundancia de especies de páramo</i>	42
Figura 15. <i>Uso de sustrato bosque alto andino</i>	44
Figura 16. <i>Uso de sustrato bosque andino</i>	46
Figura 17. <i>Uso de sustrato páramo</i>	47
Figura 18. <i>Fragmentación en las zonas de amortiguamiento del PNN Tamá</i>	49

Figura 19. *Hábitat de las especies presentes en los tres biomas* 50

Lista de apéndices

Apéndice A. *Archivo adjunto al documento* 74

Apéndice B. *Archivo adjunto al documento* 74

Apéndice C. *Fotografía especies registradas*..... 74

Apéndice D. *Artículos aceptados por Herpetology notes* 75

Apéndice E. *Artículo sometido a Bioacoustics journal* 75

Resumen

Título: Anfibios en áreas no protegidas: evaluando la diversidad, microhábitats y amenazas en tres biomas de la zona de amortiguamiento del Parque Nacional Natural Tamá, Norte de Santander, Colombia *

Autor: Laura Juliana Ortiz Pacheco**

Palabras Clave: Anfibios, microhábitat, amenazas, biomas, zonas amortiguamiento, conservación.

Descripción: El Parque Nacional Natural Tamá ubicado en el departamento de Norte de Santander, es un área que alberga un alto grado de endemismo principalmente en anfibios, sin embargo, hoy en día aún existe un desconocimiento en la diversidad y el estatus de conservación de las especies presentes tanto en el territorio dentro del parque como en las zonas aledañas no protegidas. Este trabajo identifico los anfibios presentes en tres biomas diferentes (andino, alto andino y páramo) teniendo en cuenta cuatro localidades presentes en las zonas fuera del límite de protección del PNN Tamá, evaluando su diversidad y realizando una caracterización del microhábitat para cada especie teniendo en cuenta datos micro climáticos y de uso de sustrato. En cada una de estas localidades se evaluó las presiones antrópicas y posibles amenazas que sufren los anfibios en las zonas no protegidas. Se registraron en las zonas de amortiguamiento especies que habitan las zonas protegidas, donde, a media que aumenta la altitud disminuye la riqueza de especies. Esto va de la mano con las variables micro climáticas que influyeron en la presencia de los anfibios, las cuales fueron principalmente la temperatura y humedad del ambiente. Así mismo, en cada uno de los registros se observaba su hábitat y el estado de conservación de la zona, notando un alto nivel de intervención por actividades productivas, principalmente la ganadería.

* Trabajo de Grado

** Facultad de Ciencias. Escuela de Biología. Biología. Director: Aldemar Alberto Acevedo Rincón. Doctor en Ecología. Codirector: Carlos Herney Cáceres. Magister en Bosques y Conservación Ambiental.

Abstract

Title: Amphibians in unprotected areas: assessing diversity, microhabitats and threats in three biomes of the buffer zone of the Tamá National Natural Park, Norte de Santander, Colombia *

Author(s): Laura Juliana Ortiz Pacheco **

Key Words: amphibians, microhabitat, threats, biomes, buffer zones, conservation.

Description: The Tamá National Natural Park, located in the department of Norte de Santander, is an area that harbors a high degree of endemism, primarily in amphibians. However, there is still a lack of knowledge today regarding the diversity and conservation status of the species present both within the park's territory and in the surrounding unprotected areas. This study identified the amphibians present in three different biomes (Andean, high Andean, and páramo), considering four locations outside the protection limit of the Tamá National Park. It assessed their diversity and characterized the microhabitat for each species, considering microclimatic data and substrate use. In each of these locations, anthropogenic pressures and possible threats to amphibians in the unprotected areas were evaluated. Species inhabiting the protected areas were recorded in the buffer zones, where species richness decreased as altitude increased. This is in line with the microclimatic variables that influenced the presence of amphibians, mainly temperature and humidity. Additionally, for each record, the habitat and conservation status of the area were observed, noting a high level of intervention due to productive activities, primarily livestock farming.

* Degree Work

** Facultad de Ciencias. Escuela de Biología. Biología. Director: Aldemar Alberto Acevedo Rincón. Doctor en Ecología. Codirector: Carlos Herney Cáceres. Magister en Bosques y Conservación Ambiental.

Introducción

En Colombia se han registrado un total de 895 especies de anfibios, de las cuales aproximadamente el 50% son endémicas (Acosta, 2023) Estos animales habitan principalmente en la vegetación nativa de los bosques húmedos y los páramos (Galeano et al., 2006), y son un componente importante de los ecosistemas, actuando como depredadores de invertebrados y fuente importante de alimento para algunos vertebrados (Zúñiga, E., 2023).

Los anfibios presentan características fisiológicas, ecológicas y comportamentales distintivas que los diferencian de otros organismos. Por ejemplo, poseen una piel permeable que es altamente sensible al ambiente y ciclos de vida complejos dependientes de fuentes hídricas y hábitats terrestres. Estas características los convierten en modelos de estudio ideales para evaluar el deterioro del hábitat y los ecosistemas en los que residen a través de su diversidad y abundancia (Angulo, 2002).

De manera que, a partir de los requerimientos de cada especie, es posible comprender la interacción entre las especies de una zona y los biomas que habitan. Esto permite establecer las condiciones óptimas para que cada individuo pueda prosperar en su entorno. Sin embargo, dichas condiciones se ven alteradas por diversos factores como el cambio climático, actividades humanas y la fragmentación de bosques. (González-del-Pliego et al., 2023).

Las actividades antropogénicas como los cultivos agrícolas y la ganadería desempeñan un papel fundamental en la disminución de la biodiversidad y en la generación de desequilibrios ambientales. Estas actividades han llevado a la pérdida de bosque primario y secundario y el aumento de los pastizales y potreros (Clavijo, 2018). Las zonas andinas, altoandinas y de páramo han sido unas de las más afectadas por estas actividades experimentando una transformación que oscila entre el 70% al 90% aproximadamente. Como consecuencia, se ha producido una

disminución en la cobertura vegetal, cambios en la estructura de las comunidades y en la complejidad del ecosistema, generando patrones irregulares en la distribución, abundancia y requerimientos ecológicos a nivel intraespecífico e interespecífico (Velasco-Linares & Vargas, 2008).

A partir de la cuantificación de la diversidad de anfibios en una zona se permite evaluar el estado del ecosistema en el que se encuentran mediante el análisis de cambios en la abundancia y distribución en diferentes escalas (Morin & Verhoef, 2010). Esto se relaciona con las características fisiológicas de cada especie y su alta sensibilidad a los cambios ambientales principalmente las variaciones climáticas y pérdida de hábitat que en su conjunto configuran cambios en los patrones de diversidad regional (Bernal, 2010).

El complejo del Tamá y sus zonas de amortiguamiento se componen de biomas principalmente húmedos, bosques andinos y páramos, donde nacen ocho cuencas hidrográficas, entre ellas el río Táchira. Este complejo presenta una mayor intervención en la zona sur mientras la zona norte mantiene condiciones bajas de intervención (Corponor, 2017).

Las zonas de amortiguamiento del PNN Tamá desempeñan un papel crucial como áreas de transición entre la zona protegida y los asentamientos humanos circundantes (Calderón, 2019). Su importancia radica en disminuir la presión que ejercen las zonas productivas sobre el área protegida. Sin embargo, lamentablemente, estas zonas carecen de programas de monitoreo y restauración que podrían mitigar los cambios drásticos entre zonas no intervenidas e intervenidas (Valverde, 2022). Esta falta de atención puede tener impactos adversos en la distribución de las poblaciones de anfibios en las áreas de transición, siendo un aspecto que ha sido poco abordado hasta ahora.

Respecto a la diversidad de anfibios en estas zonas de transición se tiene un breve conocimiento a partir de un estudio realizado entre el 2010 y 2015 por Acevedo, et al. (2016) en las zonas dentro y fuera del PNN Tamá. En dicho estudio se determinó una mayor abundancia y número efectivo de especies en biomas andinos, seguido de bosque altoandino y finalmente páramo, registrando un total de 541 individuos correspondientes a 14 especies y 5 familias, donde varias de ellas están en alguna categoría de amenaza.

A su vez, dentro del área protegida se ha observado un total de seis especies endémicas de anfibios (Acevedo et al., 2016), especialmente asociadas a páramos y bosques altoandinos conservados de los géneros *Pristimantis*, *Gastrotheca* y *Bolitoglossa*. Sin embargo, uno de los principales retos es determinar la distribución de anfibios en las zonas de amortiguamiento del PNN Tamá, áreas que han experimentado procesos de pérdida de la interconectividad en las formaciones vegetales, principalmente en los biomas de alto montaña y páramo, lo cuales son escenarios sensibles a los cambios del entorno, justificando el monitoreo de estas especies para entender sus amenazas y posibles respuestas a los cambios (Velasco, 2008)

Es de vital importancia abordar el desconocimiento existente sobre la diversidad de anfibios presentes en las zonas no protegidas del PNN Tamá, así como la falta de datos ecológicos relacionados con ellos. Para lograrlo, se llevó a cabo la caracterización detallada de los microhábitats que cada especie ocupa. Esto implicó analizar el tipo de sustrato, así como las variables microclimáticas y de microhábitat específicas que influyen en su presencia en las áreas de estudio. Además, se consideraron los requerimientos y condiciones particulares de cada especie, así como el uso intra e interespecífico de su microhábitat y las posibles presiones a las que se enfrentan debido a las fluctuaciones climáticas y cambios del paisaje.

De manera que es necesario caracterizar los procesos que están generando cambios en el uso del suelo, incremento de la fragmentación del hábitat y la contaminación de los cuerpos de agua, los cuales posiblemente estén afectando la diversidad de anfibios. Además, estas actividades humanas pueden afectar negativamente los ciclos reproductivos y la selección de hábitats idóneos (Velasco-Linares & Vargas, 2008). Por lo cual es necesaria entender las amenazas a las que se enfrentan las poblaciones de anfibios, así como sus requerimientos y respuestas a las fluctuaciones climáticas y las presiones del entorno, aspectos anteriormente no evaluados para la zona de amortiguamiento del PNN Tamá.

Por lo tanto, el objetivo principal de este proyecto es determinar la diversidad de anfibios y caracterizar el microhábitat de los especímenes encontrados en tres biomas diferentes que se encuentran fuera de los límites de protección del PNN Tamá. Además, se determinó el tipo de intervención antrópica presente en estas áreas.

1. Objetivos

1.1 Objetivo General

Determinar la diversidad de anfibios, caracterizar su microhábitat y evaluar las presiones antrópicas en tres biomas diferentes de las zonas de amortiguamiento del PNN Tamá, Norte de Santander, Colombia.

1.2 Objetivos Específicos

Determinar la diversidad alfa y beta de los anfibios presentes en las zonas no protegidas cercanas al PNN Tamá.

Caracterizar el uso de microhábitat a nivel intraespecífico e interespecífico en tres biomas en zonas fuera de los límites de protección.

Caracterizar las amenazas y el nivel de intervención antrópica de las zonas no protegidas del PNN Tamá.

2. Materiales y métodos

2.1 Área de muestreo

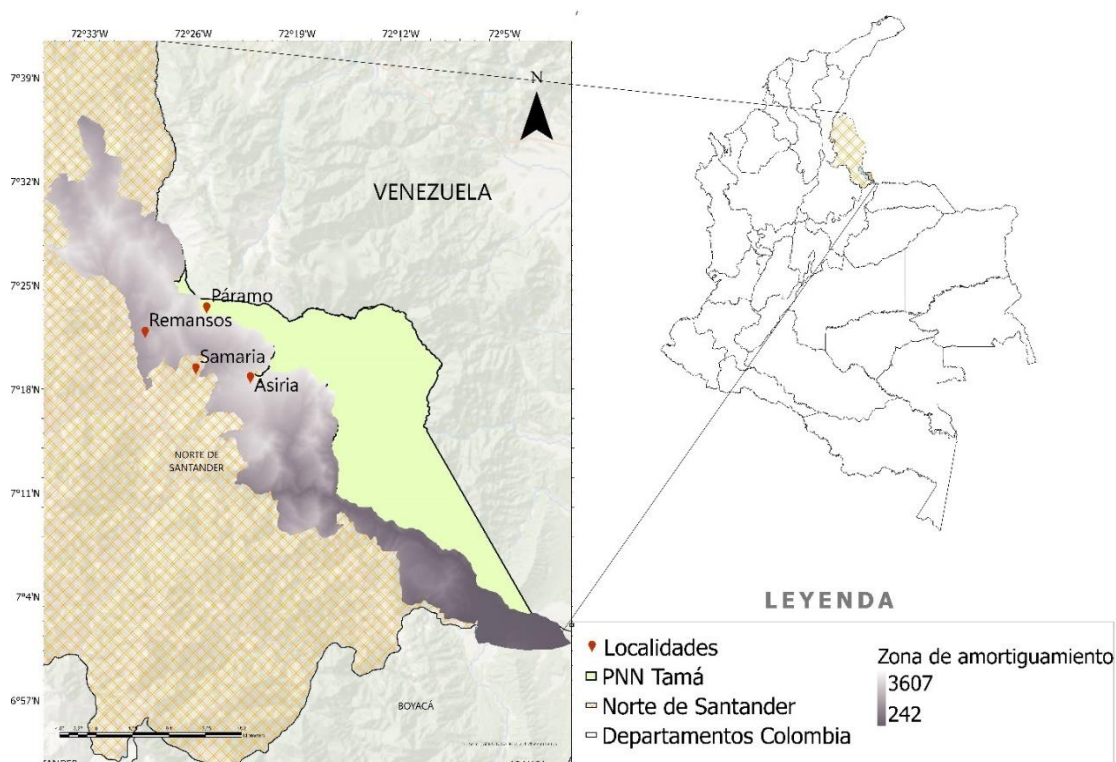
El área de estudio abarca cuatro localidades fuera de los límites de protección del Parque Nacional Natural Tamá conformadas por:

Tabla 1. Localidades zonas de amortiguamiento del PNN Tamá

Localidad	Coordenadas	Altura (m.s.n.m)
Remansos	7°21'23.69"N	2300
	72°28'18.84"W	
Asiria de Belén	7°18'20.07"N	2700
	72°22'21.73"W	
Samaria	7°18'56.4"N	2000
	72°27'21.8"W	
Páramo	7°21'44.1"N	3200
	72°25'48.5"W	

Nota. Coordenadas de las localidades de estudio correspondientes a las zonas de amortiguamiento del PNN Tamá.

Estas localidades se ubican en los municipios de Toledo y Herrán, albergando biomas que van desde bosque andino, altoandino y páramo, con diferentes rangos altitudinales (Tabla 1.) y una variación climática que va desde los 5 °C a los 25°C (Arango et al., 2014). Presentan un alto grado de producción agrícola y ganadería lo que las hace zonas altamente intervenidas.

Figura 1. Mapa zonas de muestreo

Nota: En la figura se observa las localidades que son parte del muestreo ubicadas en las zonas de amortiguamiento del PNN Tamá.

2.2 Diseño de muestreo y diversidad de anfibios

Los muestreos se realizaron bajo el permiso de marco de investigación de Corponor – 200 (Corponor, 2015), de manera libre y sin restricciones con el fin de obtener un mayor número de datos en un menor tiempo (Crump & Scott, 1994), donde no se tuvo en cuenta animales fosoriales.

Se consideraron tres tipos de biomas bosque Andino, Alto andino y Páramo, en los cuales se tuvo en cuenta los tipos de hábitat correspondientes a bosques, cuerpos de agua y áreas abiertas como pastizales o potreros, registrando cada ocurrencia de individuos adultos.

El esfuerzo de muestreo constó de cinco días con dos salidas de campo por localidad, teniendo un total de ocho salidas de campo en total, donde se hicieron caminatas tanto en el día como en la noche en un horario desde las 5:00 p.m. hasta las 11:00 p.m. y desde las 7:00 a.m. hasta las 10:00 a.m. Se contaron con tres personas para todas las salidas, con siete horas de muestreo nocturno y tres horas de muestreo diurno por persona, teniendo 210 horas de esfuerzo de muestreo en las noches y 90 horas de esfuerzo de muestreo en el día, para un total de 300 horas de esfuerzo, 130 horas de muestreo para bosque andino, 130 horas para bosque alto andino y 40 horas para páramo. Este cálculo de esfuerzo de muestreo tiene en cuenta el tiempo invertido, pero no considera factores externos como la eficiencia de muestreo, cobertura espacial o la variabilidad en la detección de anfibios (Lips & Reaser, 1999).

Se realizó una matriz morfológica (Apéndice A.) donde se registraron 39 caracteres importantes para los animales recolectados, revisando un total de 87 individuos. Se llevo un registro fotográfico para cada una de las y se realizaron comparaciones con ejemplares de la Colección Herpetológica del Museo de Historia Natural de la Universidad Industrial de Santander (UIS-A), el Museo de Ciencias Naturales José Celestino Mutis de la Universidad de Pamplona (MCNUP) y la colección de anfibios del Instituto de Ciencias Naturales de la Universidad Nacional. Finalmente se recolectaron tres especímenes por especie observada para poder corroborar su identificación taxonómica a partir de análisis moleculares, este trabajo molecular hace parte de un proyecto paralelo a este. Los especímenes recolectados serán depositados al Museo de Ciencias Naturales José Celestino Mutis de la Universidad de Pamplona (MCNUP) y a la colección de anfibios del Instituto de Ciencias Naturales de la Universidad Nacional.

2.3 Caracterización de microhábitat

Se tuvo en cuenta el mismo tipo de hábitats que en el estudio de Acevedo, et al. (2016), la cuales son zonas de bosque, cuerpos de agua y áreas abiertas a la hora de realizar los muestreos para un mejor resultado al momento de comparar los cambios en la diversidad.

Para cada ocurrencia tomo la fecha, hora y coordenadas de la ocurrencia, junto con el tipo de sustrato en el cual se encontraron los individuos teniendo en cuenta solo adultos: Hoja (Hoj), Hojarasca (Hj), Tronco (Tr), Tallo (T), Musgo (M), Suelo (S), Debajo de una roca (DR), Encima de una roca (RS), Cuerpos de Agua (Ag).

Para caracterización del microclima se tomaron variables numéricas correspondientes a temperatura del sustrato, temperatura del ambiente, temperatura a un cm del suelo, la distancia al suelo, distancia a cuerpos de agua, cobertura de dosel, altura del dosel, profundidad de la hojarasca, nubosidad, tipo de vegetación, humedad del sustrato y humedad del suelo (Tabla 2.)

Tabla 2. *Variables para la caracterización del microhábitat*

VARIABLES	JUSTIFICACIÓN	INSTRUMENTO
Temperatura del sustrato	Importante en la descripción térmica del hábitat	Termómetro laser
Temperatura del ambiente	Importante en la composición térmica del microhábitat	Datalogger con sonda/ Hobo

Temperatura un centímetro sobre el suelo	Importante en la descripción del microhábitat	
Humedad a un centímetro sobre el suelo	Importante por el tipo de respiración cutánea de anfibios	Termohigrómetro
Humedad del sustrato		
Ubicación	Importante para identificar el periodo de actividad, horas de restricción, así como posibles distancias a sustratos específicos del área	
Hora y fecha de captura		GPS/Avenza map georref
Microhábitat	Justificación	Instrumento
Distancia al suelo		Metro, decámetro digital
Inclinación sustrato	Importante para medir la	Inclinómetro
Tipo de sustrato	estratificación del hábitat	Observación/ categorías
Tipo de vegetación		
Tipo de sustrato	Importante para identificar	Observación, toma fotográfica
Distancia al agua	la dependencia hídrica de la especie	GPS/Avenza map georref

Nubosidad	Importante para medir el grado de protección fenomenológico ideal	Observación/ categorías
Altura del dosel		Hipsómetro manual/ digital
Profundidad de la hojarasca		Regla o barra graduada

Nota. Variables ambientales y micro climáticas a tener en cuenta, junto con cada uno de los instrumentos utilizados en la toma de estos datos.

2.4 Amenazas y nivel de intervención

Se registró el hábitat en el cual se encontró cada ocurrencia y dado el caso si existía algún tipo de intervención a 100 metros alrededor, distancia determinada con el decámetro digital. Se tuvo en cuenta la presencia de agricultura, ganadería o cualquier otro tipo de actividad antrópica. De igual forma se llevó un registro fotográfico de las áreas de estudio para corroborar su nivel de intervención y se realizaron entrevistas a los locales para entender los procesos de intervención que han ocurrido en las localidades. Todas las personas entrevistadas firmaron un consentimiento informado y las preguntas realizadas se encuentran en el Apéndice B.

2.5 Análisis estadísticos

2.5.1 Objetivo 1: Diversidad de especies

Se determinó la diversidad de anfibios para cada localidad o diversidad alfa teniendo en cuenta los números de Hill, que permiten obtener el número efectivo de especies teniendo en cuenta diferentes ordenes de diversidad (Chao et al., 2014). La diversidad de orden q_0 representa la riqueza de especies, es decir, el número total de especies presentes en el

muestreo (Moreno et al., 2011). La diversidad de orden q_1 es sensible a las especies comunes, ponderando las especies en función de su abundancia relativa, lo que refleja la equidad entre ellas (Jost, 2006; Moreno et al., 2011). Finalmente, la diversidad de orden q_2 enfatiza las especies más abundantes, siendo menos sensible a la presencia de especies raras (Jost, 2012; Moreno et al., 2011). Estos análisis se realizaron utilizando iNEXT online (Chao & Jost, 2015), una plataforma interactiva basada en el paquete iNEXT de R, además del uso directo del paquete iNEXT en Rstudio 4.2.3.

Se realizó una curva de rango-abundancia con el paquete BiodiversityR (Kindt, R & Coe, R., 2005) en Rstudio 4.2.3, donde se pudo observar las tendencias del número de especies encontradas a nivel de bioma y hábitat en cada localidad identificando de esta manera posibles preferencias.

Para calcular la diversidad entre los diferentes biomas o diversidad beta se determinó mediante el paquete de R betapart de Baselga (2010) con el índice de similitud de Jaccard, teniendo en cuenta el resultado total (β_{jac}) que se divide en un componente de recambio de especies (β_{jtu}) y uno de anidamiento (β_{jne}). Finalmente se realizó un PCoA mediante el paquete Vegan (Oksanen et al., 2013) en Rstudio 4.2.3 con distancia de Jaccard, con 999 permutaciones para ver si hay diferencias significativas en la distancia observada y la permutada.

2.5.2 Objetivo 2: Caracterización de microhábitat

Teniendo en cuenta las variables presentadas en la Tabla 1, se realizó un análisis de correspondencia canónica (CCA) en Rstudio 4.2.3 con el paquete MorphoTools (Šlenker, M., et al., 2022) para ver la relación entre las variables del microhábitat con la abundancia de las especies para cada uno de los biomas (Badii & Castillo, 2017). A partir del CCA se tomaron las cargas canónicas que expresan mayor varianza y se realizó una Permanova con 999 permutaciones

mediante el paquete Vegan (Oksanen et al., 2013) en Rstudio 4.2.3 para ver si hay diferencias significativas para cada bioma. A partir de este análisis se tomaron las variables de mayor importancia para los tres biomas y se realizó con los paquetes de Python Pandas (McKinney, W., 2011) para la manipulación de datos, matplotlib (Hunter, J. D., 2007) y Seaborn (Waskom, M. L., 2021). para la visualización un gráfico de densidad proporcionando una representación visual clara de las preferencias microclimáticas de las especies.

Finalmente, para la preferencia de sustrato se realizó una red bipartite, mediante el paquete Bipartite (Dormann, C., et al., 2009) en Rstudio 4.2.3 teniendo en cuenta el anidamiento u organización estructural de las interacciones, robustez o resistencia de la red y conectancia o la proporción de las conexiones reales y posibles de la red (Bascompte, J., et al., 2003). Se categorizó la altura de la percha en cuatro alturas, altura I de 0 a 50 cm, altura II de 50 a 80 cm, altura III de 80 a 100 cm, altura IV de 100 a 120 cm y altura V de 120 a 200 cm, estas categorías fueron establecidas teniendo en cuenta rangos más amplios en alturas medias, donde se encontraron un mayor número de individuos.

3. Resultados.

3.1 Diversidad

3.1.1 Diversidad Alfa

Se registraron un total de 554 individuos, representados por las familias Strabomantidae (251), Hylidae (124), Leptodactylidae (60), Centrolenidae (1), Hemiphractidae (1) y Plethodontidae (115), distribuida en 6 géneros y 11 especies en total (Figura 2).

Las especies distribuidas en los tres biomas corresponden a *Pristimantis* sp1, *Pristimantis* sp2 y *Prsitimantis* sp4, las demás especies de este género registradas junto con *Bolitoglossa*

tamaense y *Dendropsophus* sp se encuentran en los biomas de bosque Andino y Alto andino. Aquellas especies exclusivas para alguno de estos tres biomas son *Leptodactylus colombiensis* y *Centrolene altitudinalis*, registrados en bosque Andino, y para la zona de Páramo *Gastrotheca helenae* y *Pristimantis anolirex* (Tabla 3).

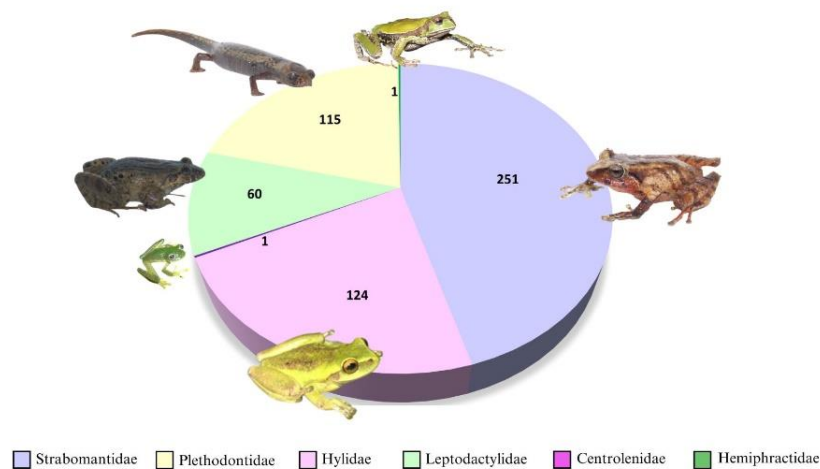
Tabla 3. Lista de especies registradas en cada uno de los biomas muestreados

Familia	Especie	Bioma			N	IUCN
		BA	BAA	P		
Strabomantidae	<i>Pristimantis</i> sp1 (d)	68	45	2	115	
	<i>Pristimantis</i> sp2 (e)	59	22	2	83	
	<i>Pristimantis</i> sp3 (f)	4	0	0	4	
	<i>Pristimantis</i> sp4 (g)	10	12	2	24	
	<i>Pristimantis</i> sp5 (h)	8	14	0	22	
	<i>Pristimantis</i> <i>anolirex</i> (j)	0	0	3	3	VU
Hylidae	<i>Dendropsophus</i> sp (b)	90	34	0	124	
Leptodactylidae	<i>Leptodactylus</i> <i>colombiensis</i> (c)	60	0	0	60	LC

Centrolenidae	<i>Centrolene</i> <i>altitudinalis (a)</i>	1	0	0	1	EN
Hemiphractidae	<i>Gastrotheca</i> <i>helenae (k)</i>	0	0	1	1	EN
Plethodontidae	<i>Bolitoglossa</i> <i>tamaense (i)</i>	78	37	0	115	EN

Nota. Lista de especies con sus respectivas abundancias en cada uno de los biomas estudiados en las zonas de amortiguamiento del PNN Tamá. Bosque Andino (BA), Bosque Alto andino (BAA) y Páramo (P). El nivel de amenaza según la IUCN corresponde: CR: En Peligro Crítico, VU: Vulnerable, LC: Preocupación Menor, EN: En peligro, NE: No Evaluado.

Figura 2. Representatividad de las familias de anuros en las zonas de amortiguamiento del PNN Tamá



Nota. Representatividad de cada una de las familias de anuros registradas en las zonas de amortiguamiento del PNN Tamá.

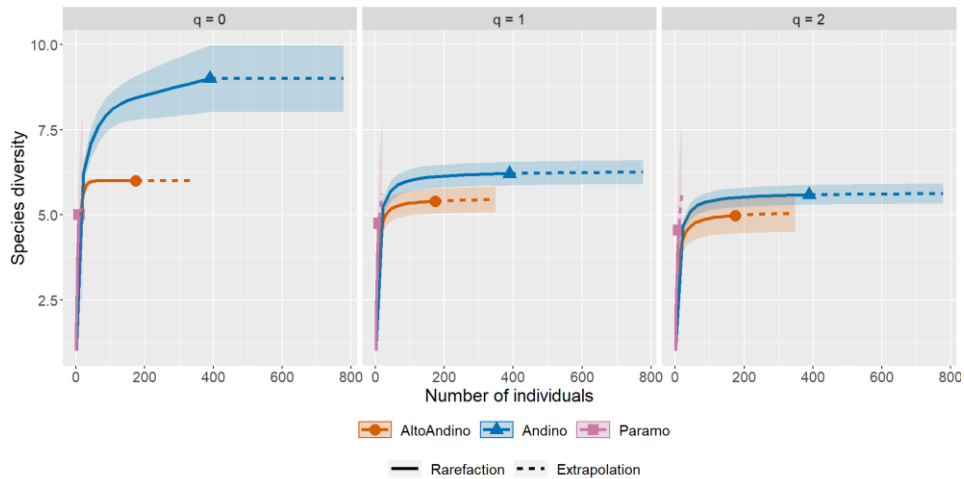
La cobertura de muestreo para cada uno de los biomas arrojó valores de 90 % para las zonas muestreadas, estos resultados indican una alta diversidad de anuros acumulada en los tres biomas muestreados.

Mediante los números efectivos de Hill, se puede observar la diversidad obtenida en cada uno de los órdenes. Para la diversidad de orden q_0 o riqueza de especies se observa que las zonas de Bosque Andino obtienen el mayor número de especies (9), seguido de Bosque Alto andino (6). Para estos dos biomas la curva de completitud logró una asíntota, evidenciando un buen esfuerzo de muestreo. El bioma correspondiente a Páramo obtuvo el menor número de especies (5), y la curva de completitud no logró una asíntota, de igual forma la extrapolación no evidencia un aumento de la muestra (Figura 3).

Por otro lado, para la diversidad de orden q_1 (Exponencial de Shannon), se evidencia la homogeneidad de las especies dentro de la muestra. Para bosque Andino se tiene 6.20 especies igualmente abundantes, para bosque Alto andino 5.39 y finalmente para Páramo 4.74 aproximadamente. A partir de estos valores se concluye que el bosque Andino es 1.15 veces más diverso que el bosque Alto andino, y 1.30 veces más diverso que Páramo, y finalmente el bosque Alto andino es 1.13 veces más diverso que el Páramo. De manera que el bioma menos diverso, en este caso el Páramo, cuenta con un 76% de la diversidad presente en el bioma más diverso o bosque Andino.

Finalmente, la diversidad de orden q2 representa aquellas especies dominantes dentro de la muestra, en el caso del bosque Andino 5.58, en bosque Alto andino 4.97, y para el bioma de Páramo 4.54 especies. (Tabla 4).

Figura 3. *Diversidad de especies para cada uno de los biomas muestreados*



Nota. Curvas de muestreo basadas en el tamaño de la muestra, con intervalos de confianza del 95% Diversidad de orden q=0 (riqueza de especies, panel izquierdo), q=1 (equitatividad de especies, panel central), q=2 (dominancia de especies, panel derecho)

Tabla 4. *Diversidad alfa analizada para cada uno de los biomas muestreados en las zonas de amortiguamiento del PNN Tamá*

Bioma	Números de Hill		
	q0	q1	q2
Andino	9	6.204989	5.582359

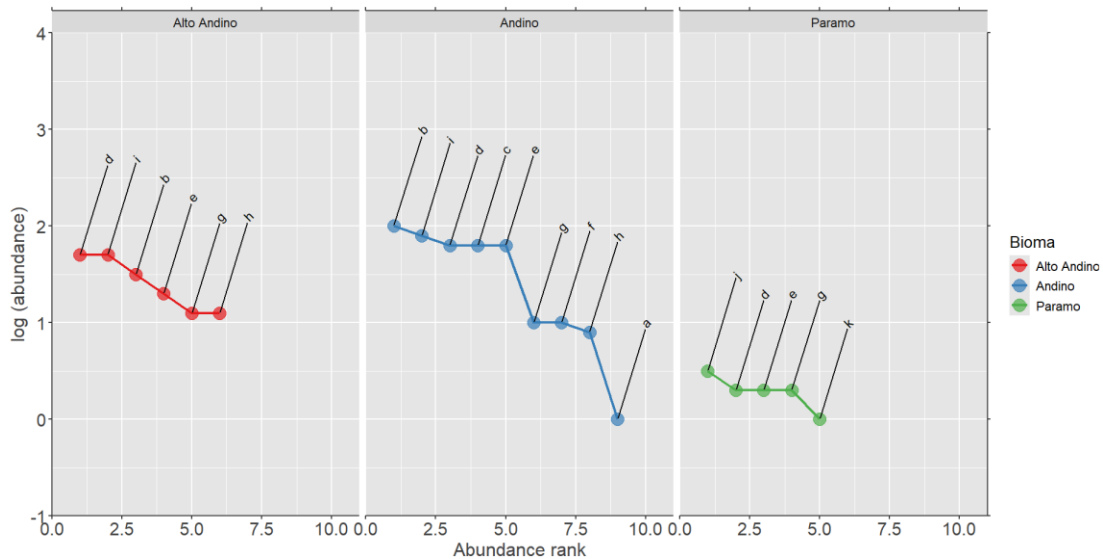
Alto andino	6	5.395340	4.977968
Páramo	5.1	4.745103	4.545455

Nota. Resultado análisis de diversidad alfa mediante números de Hill para cada bioma. Diversidad de orden $q=0$ (riqueza de especies), $q=1$ (Exponencial de Shannon), $q=2$ (Inverso de Simpson)

Respecto a las curvas de rango-abundancia, en los tres biomas se muestra una diferencia considerable para cada una de las especies registradas, evidenciando poca uniformidad en la distribución de la abundancia en los tres biomas estudiados (Figura 4).

La especie más abundante para cada uno de los biomas presenta una alta variación, con 90 individuos de *Dendropsophus* sp (*b*) para el bosque Andino, seguido de 45 individuos de *Pristimantis* sp1(*d*) para bosque Alto andino y finalmente 3 individuos de *P. anolirex* (*j*) siendo la especie más abundante en Páramo.

Por otra parte, especies presentes en el bioma Alto andino y Andino presentan diferencias considerables en su abundancia, como es el caso de *B. tamaense* (*i*), con 37 y 78 individuos respectivamente y *Dendropsophus* sp (*b*) con 34 y 90 individuos. De manera que se evidencia mayor abundancia para la zona de bosque Andino, junto con un mayor número de especies y dos únicas de este bioma como lo son *C. altitudinalis* (*a*) con un único registro y *L. colombiensis* (*c*) con 60 individuos. En la zona de Páramo también se evidencian dos especies únicas de este bioma que corresponden a *G. helenae* (*k*) con 1 individuo y *P. anolirex* (*j*) con 3 registros (Figura 4).

Figura 4. Curvas de rango-abundancia para cada uno de los biomas

Nota. Curvas de rango-abundancia y distribución en los biomas correspondiente a bosque Andino, Alto andino y Páramo. Cada una de las especies corresponden al código asignado en la Tabla 3.

3.1.2 Diversidad Beta

El índice de Jaccard (β_{jac}) evidencia menor disimilitud entre el bioma Andino y Alto andino con un valor de 0.33, a diferencia del Andino y Páramo que presenta 0.72 y Alto andino y Páramo un valor de disimilitud de 0.62 (Tabla 5).

Al analizar la localidad del bosque Andino y bosque Alto andino se evidencia un valor de anidamiento (0.33) o variación en el número de especies mayor que el valor de recambio (0.00), indicando una composición similar entre estos dos biomas. Por otra parte, para el bosque Andino y Páramo se obtuvo un mayor valor para el recambio de especies (0.57) en comparación al anidamiento (0.15), indicando la presencia de especies exclusivas entre estas dos zonas de estudio. Finalmente, para el bosque Alto andino y la zona de Páramo se presenta de igual manera un mayor

recambio (0.57) en comparación al anidamiento (0.05), y un valor de anidamiento bajo, indicando una alta diferencia en la composición de especies de estos dos biomas (Tabla 5).

Tabla 5. Índice de disimilitud de Jaccard

	β_{jtu}		β_{jne}		β_{jac}	
	Andino	Alto andino	Andino	Alto andino	Andino	Alto andino
Alto andino	0.00000	-	0.33333	-	0.33333	-
Páramo	0.57142	0.57142	0.15584	0.05357	0.72727	0.625000

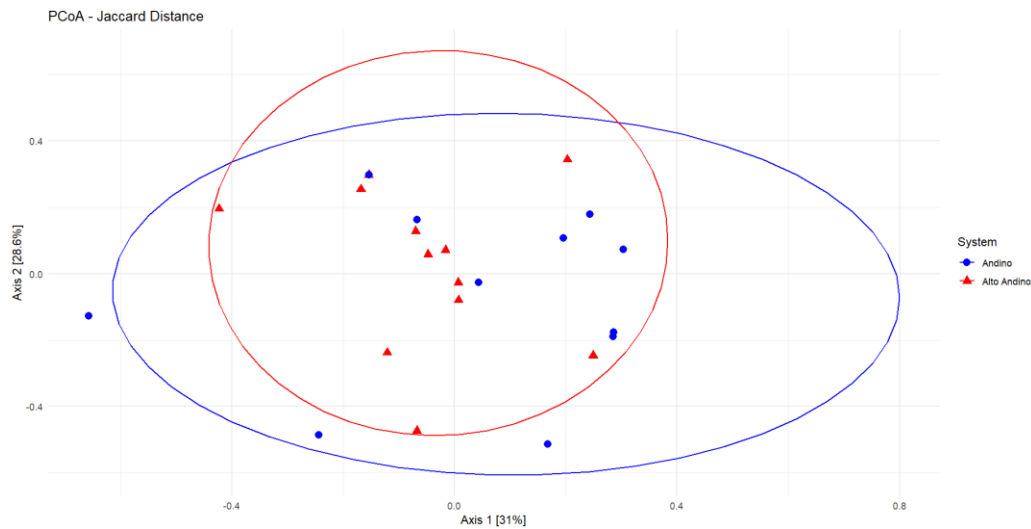
Nota. Comparaciones pareadas del índice de disimilitud de Jaccard para cada uno de los biomas.

Mediante el análisis de coordenadas principales o PCoA con distancia de Jaccard se puede observar de manera gráfica que no hay diferencia entre las especies que componen los biomas de bosque andino y alto andino (Figura 5), donde se obtuvo que la distancia observada es igual que la distancia permutada (999 permutaciones), con un valor de $p = 1$ indicando que no hay diferencias significativas entre estos dos biomas, por lo que las especies son similares para los dos, evidenciando un solapamiento de los clusters, sin embargo, este análisis solo nos expresa el 59% de la varianza.

Concuera con los datos obtenidos en la comparación pareada del índice de disimilitud de Jaccard. Aquellos puntos que se encuentran solo en la zona de bosque Andino corresponden a especies exclusivas de este bioma como lo fueron *Leptodactylus colombiensis* y *Centrolene altitudinalis*.

La zona que corresponde a Páramo no se tuvo en cuenta en este análisis debido a la cantidad baja de datos obtenidos durante el muestreo.

Figura 5. Análisis de coordenadas principales (PCoA) con base en distancia de Jaccard



Nota. Análisis de coordenadas principales (PCoA) basado en distancia de Jaccard para los biomas de bosque Andino y Alto andino.

3.2 Caracterización Microhábitat

Para la caracterización de microhábitat se tomaron un total de once variables entre datos climáticos y del microhábitat para los tres biomas y se contrastaron con la abundancia de las especies. Para cada uno se transformaron los datos mediante raíz cuadrada ya que se los valores son heterogéneos y se realizó un análisis de correspondencia canónica o CCA para ver las relaciones entre las diferentes variables y la abundancia de especies. A partir de los datos obtenidos se tomaron las variables que presentaron mayor porcentaje de correlación y se realizó un gráfico de densidad proporcionando una representación visual clara de las preferencias micro climáticas de las especies.

Finalmente, para ver el uso de sustrato y altura de percha se realizó una red bipartite, determinando la conectancia, anidamiento y robustez entre los diferentes sustratos y las especies de cada bioma.

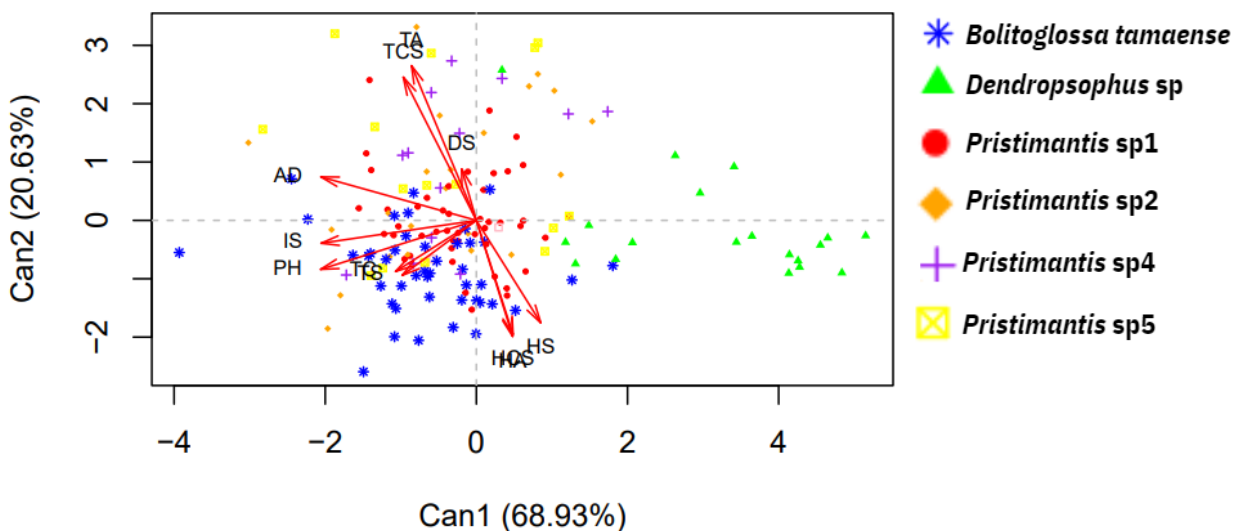
3.2.1 Análisis correspondencia canónica (CCA)

3.2.1.1 Bioma alto andino

Para el bioma alto andino se observa que las dos primeras cargas canónicas determinan la importancia de las variables del microhábitat para este bioma, con una contribución del 68% para Can1 y de 20 % para Can2 (Figura 6).

Las variables explicadas para cada una de las cargas canónicas se observan en la Figura 6. Can1 explica las variables de altura dosel (AD: 0.48), inclinación sustrato (IS: 0.62) y profundidad hojarasca (PH: 0.69). Por otra parte, Can2 explica las variables que corresponden a temperatura ambiente (TA: 0.55), temperatura a un centímetro del sustrato (TCS: 0.28), humedad un centímetro del sustrato (HCS: 0.68) y humedad ambiente (HA: 0.28), teniendo estas dos últimas una alta correlación. Las demás variables están siendo explicadas por las dos cargas, como lo son temperatura corporal y temperatura sustrato.

Figura 6. Análisis correspondencia canónica bosque alto andino



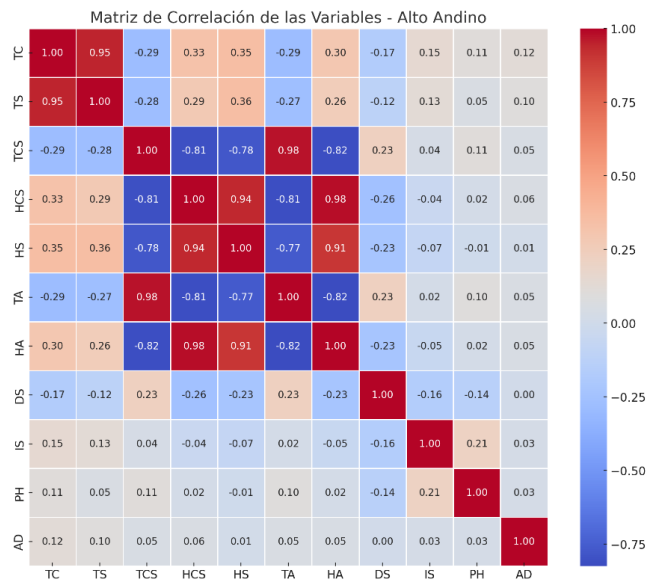
Nota. CCA para el bosque alto andino, donde se observan las variables explicadas en las dos primeras cargas canónicas. TA: temperatura ambiente, TCS: temperatura un centímetro del sustrato, TC: temperatura corporal, TS: temperatura del sustrato, HA: humedad ambiente, HCS: humedad un centímetro del sustrato, HS: humedad sustrato, DS: distancia al suelo, AD: altura dosel, IS: inclinación sustrato, PH: profundidad hojarasca. Las flechas representan los vectores de las variables del microhábitat

Las especies de anfibios que se relacionan con cada una de las variables micro climáticas tomadas se observan en la Figura 6. En su mayoría las especies del género *Pristimantis* y *Bolitoglossa tamaense* presentan una relación similar con las variables micro climáticas, principalmente a la temperatura corporal y temperatura del sustrato, esto se debe a que en su mayoría fueron encontradas en lugares cercanos dentro de zonas boscosas. Por otra parte, *Dendropsophus sp* se diferencia de manera importante de las demás especies, relacionándose principalmente con la humedad del sustrato, debido a ser una especie de zonas abiertas y en gran parte encontrada dentro de cuerpos de agua como riachuelos o charcos en medio de potreros en este bioma.

La matriz de correlación de las variables, arroja una alta correlación en la mayoría de ellas, principalmente en los diferentes tipos de temperaturas y humedades registradas con valores entre el 70 al 100 % (Figura 7), los datos de temperatura ambiente (TA) y temperatura a un centímetro del sustrato (TCS) se encuentran correlacionados de manera negativa con humedad del sustrato (HS), humedad a un centímetro del sustrato (HCS) y humedad del ambiente (HA), lo que indica que a medida que uno aumenta el otro valor va a disminuir.

Por otra parte, los datos de altura de percha (DS), altura de dosel (AD), profundidad hojarasca (PH) e inclinación del sustrato (IS) presentan una correlación entre 0% y 50% con la mayor parte de las variables de temperatura y humedad, siendo estas variables las que permiten ver diferencias en el microhábitat de las diferentes especies.

Figura 7. *Matriz correlación bosque alto andino*



Nota. Matriz de correlación de las variables microclimáticas y de microhábitat del bosque alto andino.

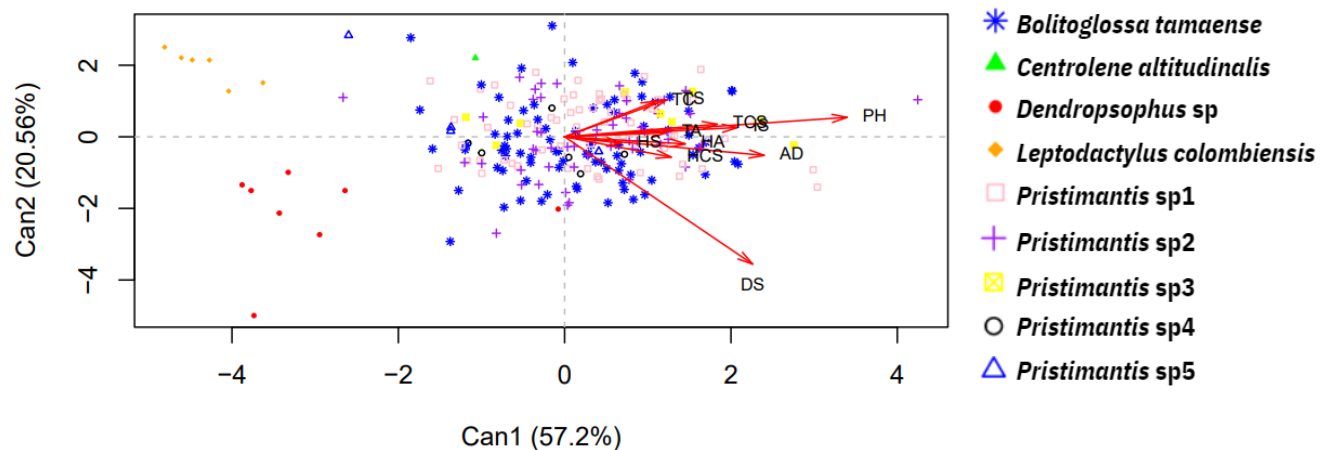
El análisis multivariado Permanova dio como resultado: $F = 2.44$ sugiriendo que las variables analizadas presentan mayor variabilidad entre especies que dentro de la misma especie, $R^2 = 0.07$ indica que solo se expresa un 7% de variabilidad, lo cual puede darse por la presencia de otras variables o la homogeneidad de las variables entre las especies, finalmente $p = 0.001$ indica diferencias significativas entre las especies.

3.2.1.2 Bosque andino

Para el bioma Andino el análisis de correspondencia canónica nos dio como resultado un 57.2 % de contribución para la primera carga canónica y un 20.5 % para la segunda carga canónica, cada una de ellas representando diferentes variables del microhábitat tomadas.

La primera carga canónica explica las variables de profundidad hojarasca (PH: 0.70), temperatura a un centímetro del sustrato (TCS: 0.38), altura dosel (AD: 0.49) e inclinación del sustrato (IS: 0.43), todas estas altamente relacionadas. Para la segunda carga la variable representativa es la distancia al suelo (DS: 0.74). Las demás variables están representadas por ambos componentes (Figura 8.)

Figura 8. Análisis de correspondencia canónica bosque andino



Nota. CCA para el bosque andino, donde se observan las variables explicadas en las dos primeras cargas canónicas. TA: temperatura ambiente, TCS: temperatura un centímetro del sustrato, TC: temperatura corporal, TS: temperatura del sustrato, HA: humedad ambiente, HCS: humedad un centímetro del sustrato, HS: humedad sustrato, DS: distancia al suelo, AD: altura dosel, IS:

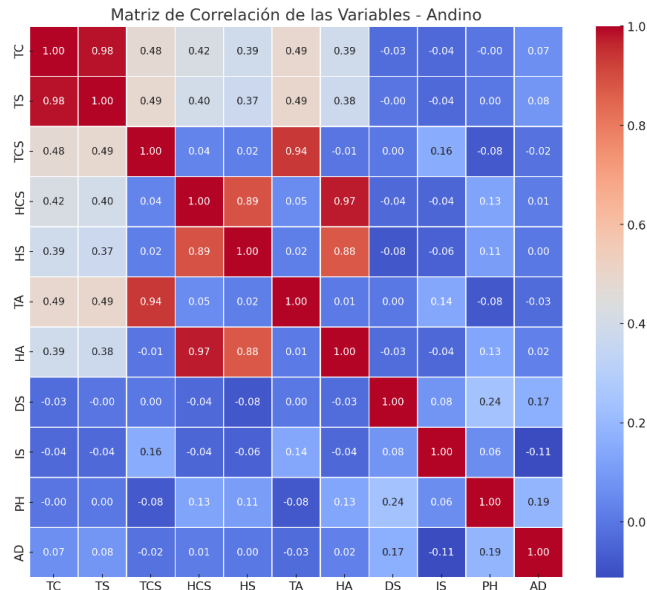
inclinación sustrato, PH: profundidad hojarasca. Las flechas representan los vectores de las variables del microhábitat

Las especies relacionadas a cada una de las variables micro climáticas se observan en la Figura 9. Especies como *Dendropsophus* sp y *L. colombiensis*, se relacionan a las variables explicadas por la tercera carga canónica que representa las variables de temperatura ambiente (TA), esto se encuentra relacionado con el hábito de estas dos especies, siendo principalmente áreas abiertas donde la temperatura ambiental desciende en horas de la noche a mayor escala que en las zonas boscosas.

La mayor parte de individuos del género *Pristimantis* y la especie *B. tamaense*, se relacionan principalmente con la temperatura corporal (TC), la temperatura ambiente (TA) y humedad sustrato (HS) siendo variables altamente correlacionadas.

A partir de la matriz de correlación realizada se evidencia una baja correlación entre las variables del microhábitat como lo son la distancia al suelo (DS), inclinación sustrato (IS), profundidad hojarasca (PH) y altura del dosel (AD) con las variables climáticas, oscilando entre un 0% y un 30% (Figura 9).

Este bioma presenta un porcentaje de correlación menor en las variables micro climáticas comparado con el bioma alto andino con valores entre un 40% a un 90%, esto puede ser debido a que se registraron un mayor número de especies en diferentes hábitats y condiciones, indicando que muchas de ellas no se encuentran altamente correlacionadas como lo son la temperatura a un centímetro del sustrato, temperatura y humedad ambientes con las demás variables.

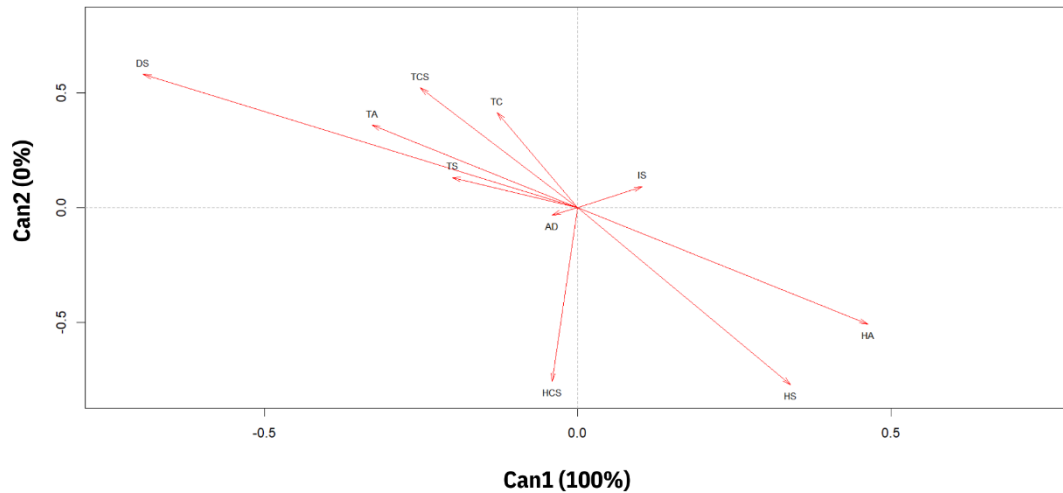
Figura 9. Matriz de correlación bosque andino

Nota. Matriz de correlación variables microclimáticas de microhábitat del bosque andino

El análisis multivariado Permanova dio como resultado: $F = 3.83$ sugiriendo que las variables analizadas presentan mayor variabilidad entre especies que dentro de la misma especie, $R^2 = 0.122$ indica que se expresa un 12.2% de variabilidad, lo cual puede darse por la presencia de otras variables o la homogeneidad de las variables entre las especies, finalmente $p = 0.001$ indica diferencias significativas entre las especies.

3.2.1.3 Páramo

Debido a los pocos datos obtenidos para la zona de Páramo, los resultados obtenidos en el análisis de correspondencia canónica no son lo suficientemente robustos, donde la primera carga canónica explica el 100% (Figura 10.)

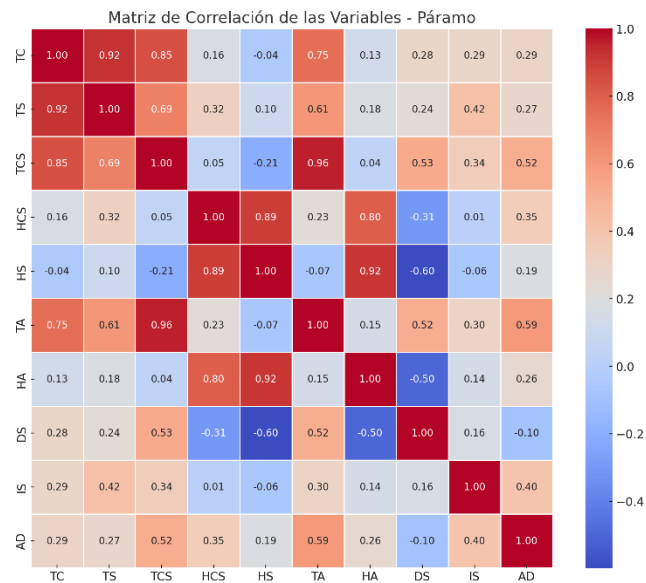
Figura 10. *Análisis de correspondencia canónica de páramo*

Nota. CCA para el páramo, donde se observan las variables explicadas en las dos primeras cargas canónicas. TA: temperatura ambiente, TCS: temperatura un centímetro del sustrato, TC: temperatura corporal, TS: temperatura del sustrato, HA: humedad ambiente, HCS: humedad un centímetro del sustrato, HS: humedad sustrato, DS: distancia al suelo, AD: altura dosel, IS: inclinación sustrato, PH: profundidad hojarasca. Las flechas representan los vectores de las variables del microhábitat

La especie *Pristimantis anolirex* se encuentra relacionada con las variables de humedad del sustrato (HS) y humedad ambiente (HA). Sin embargo, ninguna de las otras especies se encuentra relacionada a alguna variable, esto se debe a la baja cantidad de registros y datos para las demás especies registradas en la zona de Páramo, siendo *P. anolirex* la más abundante

Debido al bajo número de datos obtenido para esta zona se tiene como resultado que la mayor parte de las variables se encuentran altamente correlacionadas entre sí, lo que impide tener claridad sobre aquellas variables de mayor influencia.

Figura 11. Matriz de correlación de páramo



Nota. Matriz de correlación variables microclimáticas y de microhábitat del páramo.

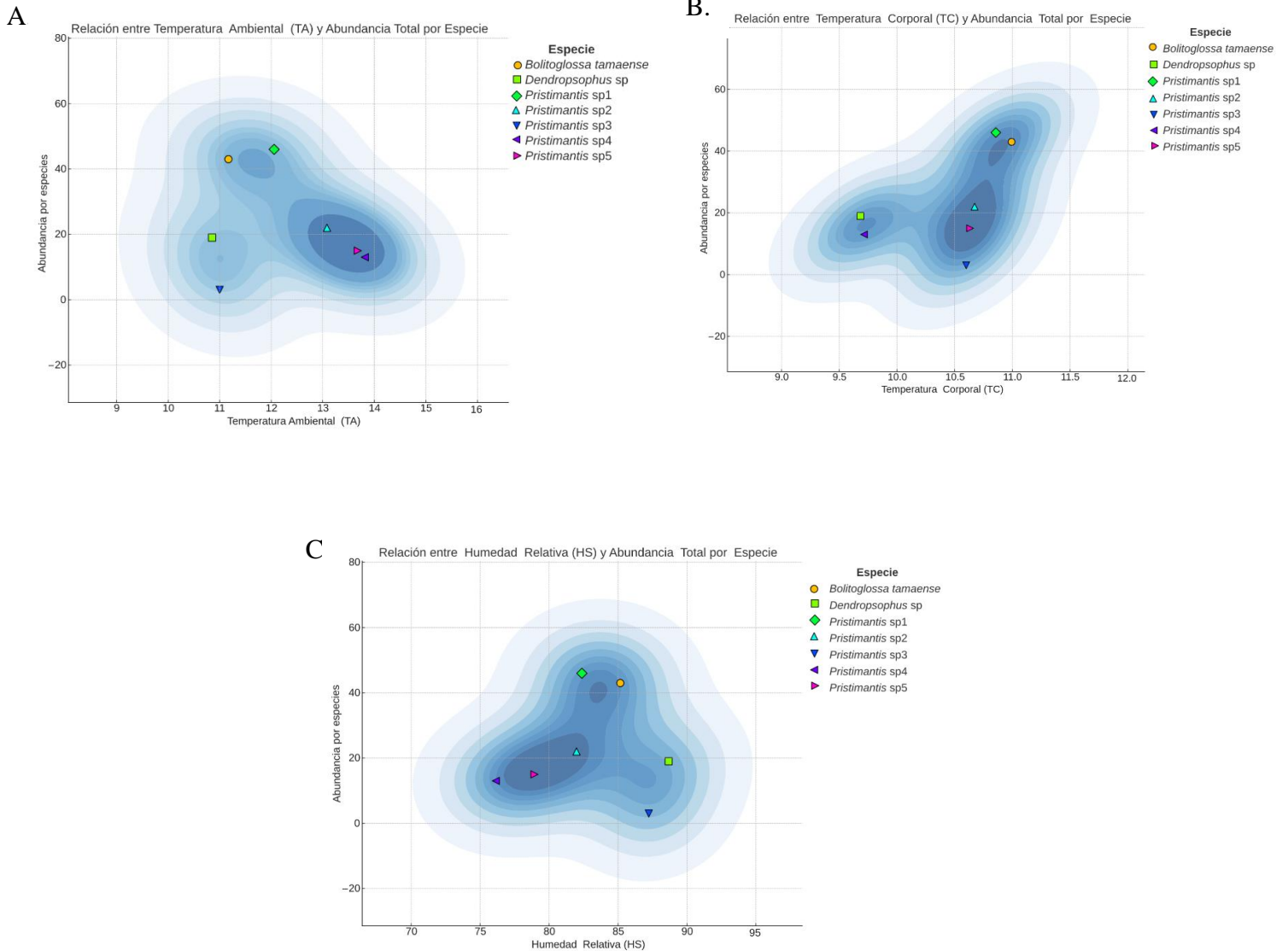
3.2.2 Gráfico densidad

A partir de los datos obtenidos en el análisis de correspondencia canónica y la matriz de correlación se determina que gran parte de las variables se encuentran correlacionadas entre sí, por lo que se tomaron aquellas que presentan porcentajes altos de correlación correspondiendo a temperatura ambiente, humedad sustrato y temperatura corporal.

3.2.2.1 Bosque alto andino

En el bioma alto andino los valores de la temperatura ambiente son semejantes respecto a la temperatura corporal para todas las especies en un rango entre 9 grados a 14 (TA) y 9 grados a 11 (TC) respectivamente. Para la humedad, se presenta un promedio para todas las especies entre 75 y 90 %, siendo *Dendropsophus* sp, la especie presente en la humedad más alta y *Pristimantis* sp4 en la humedad más baja.

Figura 12. Relación entre las variables micro climáticas respecto a la abundancia de especies del bosque alto andino.

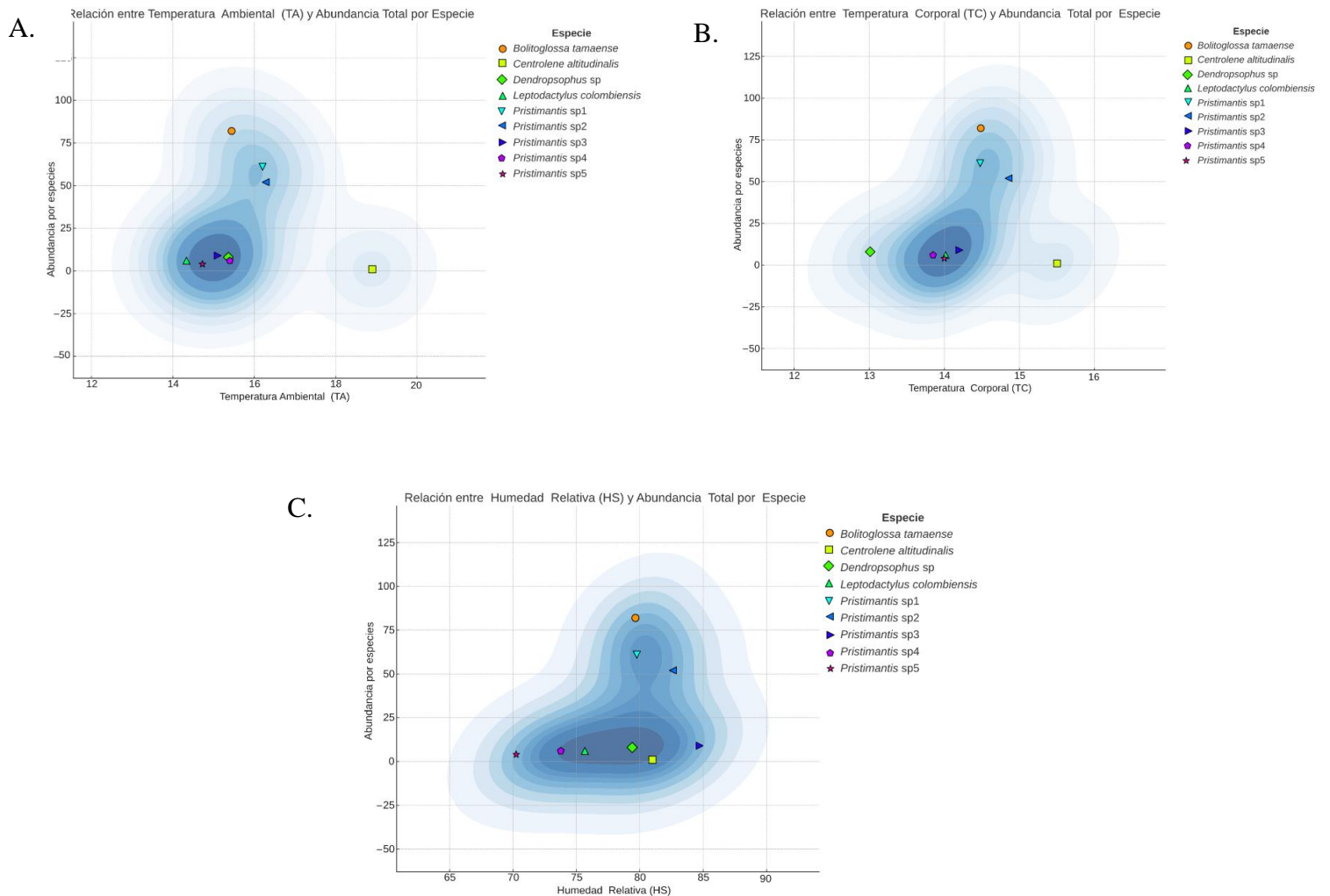


Nota. En las gráficas se observan la relación del promedio de las variables micro climáticas más influyentes con la abundancia de las especies del bosque alto andino. A. Temperatura ambiental y abundancia total por especies. B. Temperatura corporal y abundancia total por especie. C. Humedad relativa y abundancia total por especie.

3.2.2.2 Bosque andino

Para el bioma Andino, los valores de la temperatura ambiente son semejantes respecto a la temperatura corporal para todas las especies en un rango entre 14 grados a 19 (TA) y 13 grados a 17 (TC) respectivamente. Para la humedad, se presenta un promedio para todas las especies entre 65 y 90, donde la mayor parte de especies presentan una humedad similar.

Figura 13. Relación entre las variables micro climáticas respecto a la abundancia de especies del bosque andino

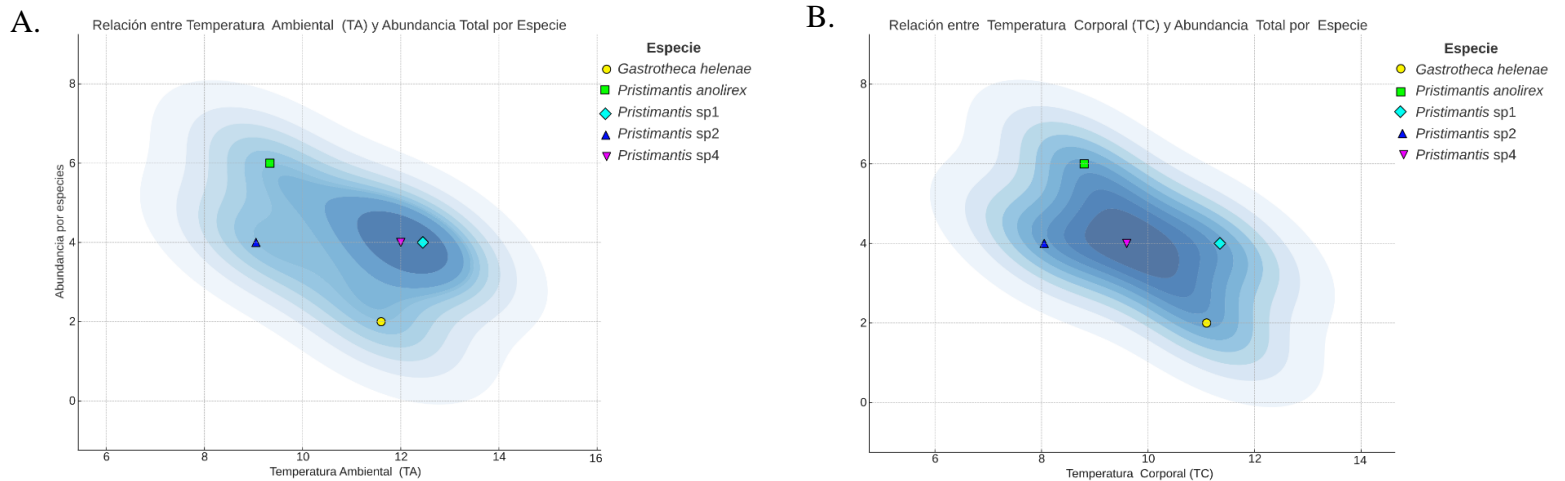


Nota. En las gráficas se observan la relación del promedio de las variables micro climáticas más influyentes con la abundancia de las especies del bosque andino. A. Temperatura ambiental y abundancia total por especies. B. Temperatura corporal y abundancia total por especie. C. Humedad relativa y abundancia total por especie

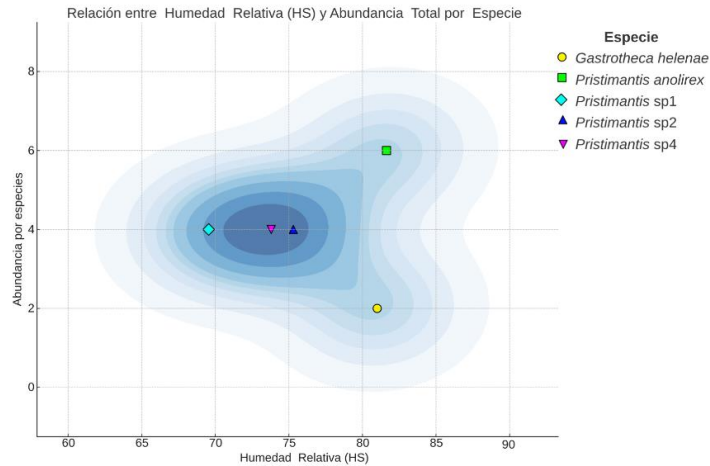
3.2.2.3 Páramo

Para el bioma de Páramo, se evidencia valores similares entre la temperatura ambiente y la temperatura corporal para cada una de las especies con un rango entre 7 grados y 14 (TA) y 6 y 13 grados (TC) respectivamente. Por otra parte, la humedad presento un rango de 60 a 80, donde *P. anolirex* y *G. helenae* se registraron en la mayor humedad con 80.

Figura 14. Relación entre las variables micro climáticas respecto a la abundancia de especies de páramo



C.

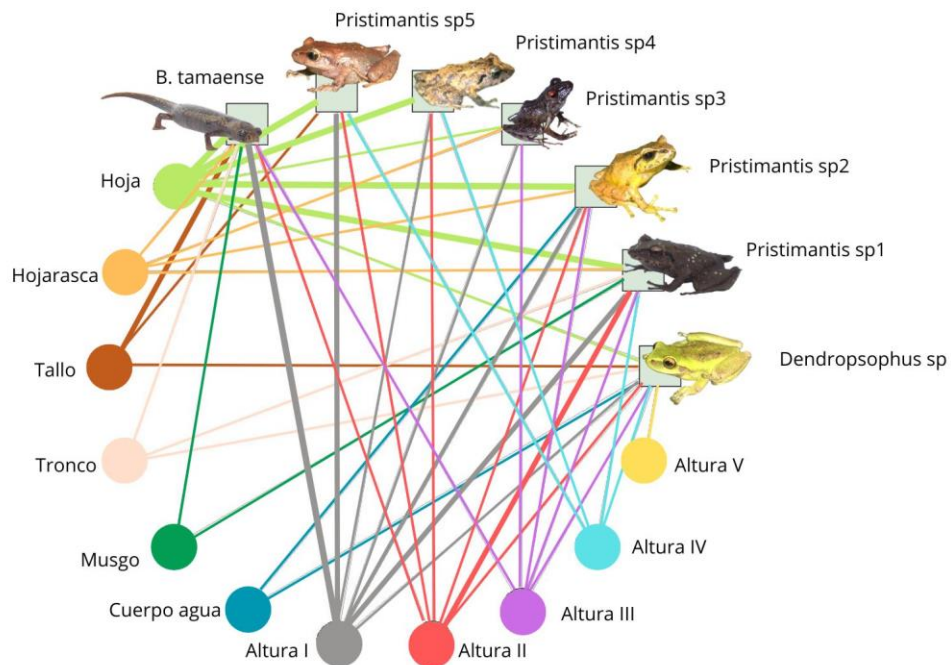


Nota. En las gráficas se observan la relación del promedio de las variables micro climáticas más influyentes con la abundancia de las especies de páramo. A. Temperatura ambiental y abundancia total por especies. B. Humedad relativa y abundancia total por especie. C. Temperatura corporal y abundancia total por especie.

3.2.3 Red bipartite

3.2.3.1 Bosque alto andino

En el bioma Alto andino, la especie *Dendropsophus* sp, fue la única especie que se encontró en hojas a una altura de 120 a 200 cm y en cuerpos de agua a nivel del suelo. Las especies del género *Pristimantis* se observaron en diferentes sustratos y alturas, siendo la más dominante las hojas con una altura de 0 a 50 cm. Por otra parte, *B. tamaense* se encontró principalmente en tallo y hojas a altura entre los 0 y los 80 cm (Figura 14).

Figura 15. *Uso de sustrato bosque alto andino*

Nota. Uso de sustrato para las especies de anfibios en el bosque alto andino. Las interacciones que presentan un mayor grosor indican un mayor número de individuos en ellas.

La red de interacción arroja una conectancia media, indicando que hay un número considerable de interacciones entre las especies y el uso de sustrato, sin embargo, no están presentes todas las posibles interacciones dentro de la red. Por otra parte, se presenta una robustez entre media y alta tanto en la robustez de bajo nivel (LL) como en la de alto nivel (HL), indicando que, si se eliminarán los nodos menos conectados o los más conectados la red continuaría siendo funcional, lo que indica que las especies no dependen exclusivamente de un tipo de sustrato.

Se presenta un anidamiento moderado, indicando un solapamiento leve, donde gran parte de las especies comparten las interacciones. Finalmente, el grado de especialización (H2) nos indica un bajo nivel, evidenciando especies más generalista respecto al uso de sustrato en este bioma.

Tabla 6. Índices red bipartite bosque alto andino

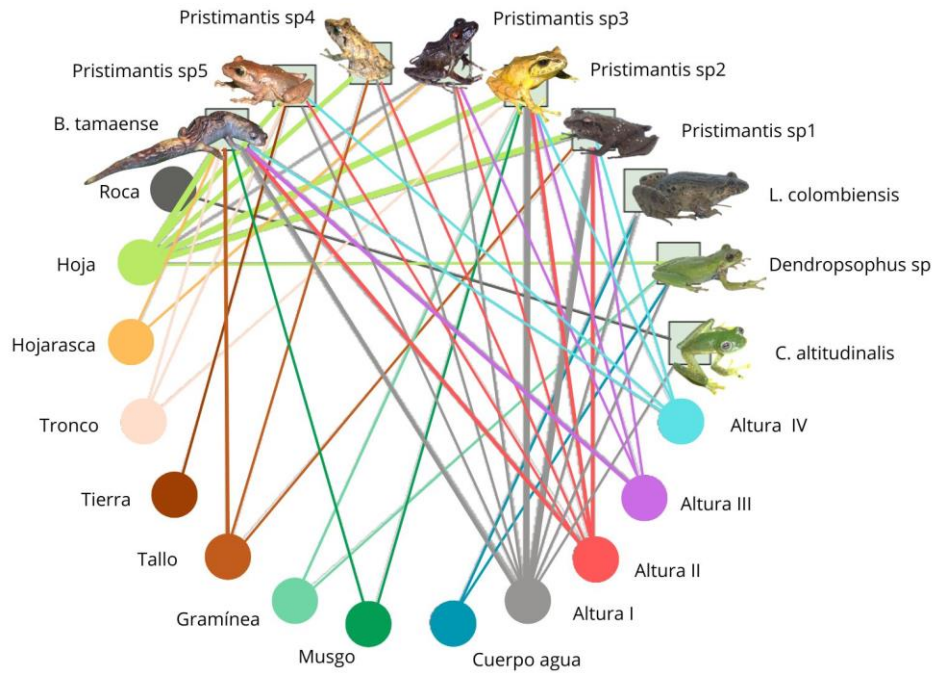
Índice	Valor
Conectancia	0.57
Robustez HL	0.79
Robustez LL	0.67
Peso anidamiento	0.55
H2	0.13

Nota. Valor para los índices analizados en la red bipartite para el bioma de bosque alto andino

3.2.3.2 Bosque andino

Para el bioma Andino, *C. altitudinalis*, se registró sobre roca a una altura entre 0 a 50 cm, cerca de un cuerpo de agua, siendo la única especie registrada en este tipo de sustrato. Especies que se caracterizan por ser de zonas abiertas como *L. colombiensis* y *Dendropsophus* sp, se encontraron en cuerpos de agua los cuales fueron charcos entre potreros, y hojas de gramíneas o pastos a alturas entre 0 a 50 cm.

Para las especies de *Pristimantis*, se evidencia una mayor variedad en la preferencia de sustrato, observándose principalmente en hojas. *Pristimantis* sp2, fue la única especie registrada sobre musgo y en una gramínea y *Pristimantis* sp5 la única especie registrada sobre tierra. Por otra parte, *B. tamaense* evidencia diferentes tipos de sustratos, principalmente hoja y tallo entre los 0 a 120 cm de altura de percha, esto también se debe a que fue una de las especies con mayor número de individuos registrados.

Figura 16. *Uso de sustrato bosque andino*

Nota. Uso de sustrato para las especies de anfibios en el bosque Alto andino. Las interacciones que presentan un mayor grosor indican un mayor número de individuos en ellas.

La red de interacción arroja una conectancia baja indicando que la mayor parte de las interacciones se están dando solo con algunos nodos, es decir, la mayor parte de especies se relacionan con los mismos sustratos. Por otra parte, se presenta una robustez entre media y alta tanto en la robustez de bajo nivel (LL) como en la de alto nivel (HL), indicando que, si se eliminarán los nodos menos conectados o los más conectados la red continuaría siendo funcional, lo que indica que las especies no dependen exclusivamente de un tipo de sustrato.

Se presenta un anidamiento moderado, lo que indica un solapamiento, donde la mayor parte de las especies comparten interacciones. Finalmente, el grado de especialización (H2) nos indica un bajo nivel, evidenciando especies más generalista respecto al uso de sustrato en este bioma.

Tabla 7. *Índices red bipartite bosque andino*

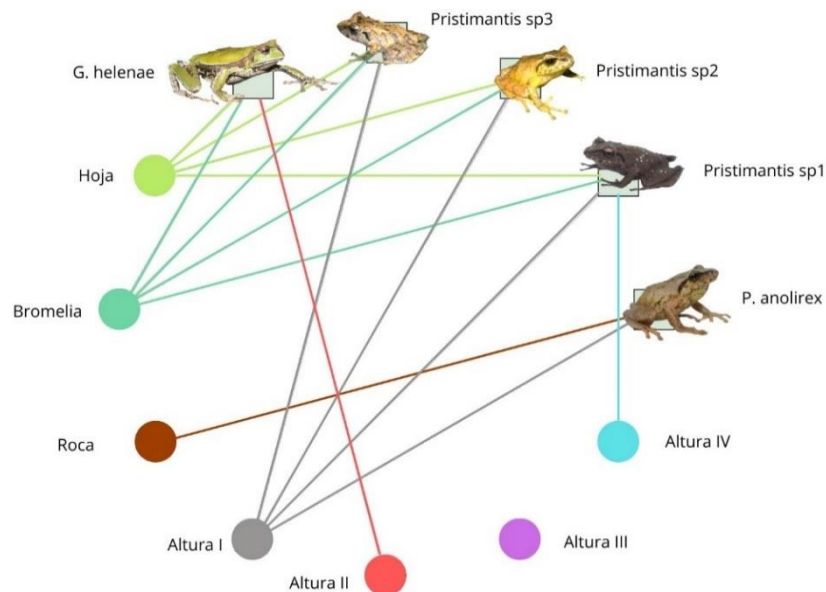
Índice	Valor
Conectancia	0.39
Robustez HL	0.75
Robustez LL	0.64
Peso anidamiento	0.45
H2	0.12

Nota. Valor para los índices analizados en la red bipartite para el bioma de bosque andino

3.2.3.3 Páramo

Respecto al uso de sustrato en la zona de páramo, *P. anolirex* se registró únicamente sobre roca entre 0 a 50 cm. Las demás especies registradas fueron encontradas sobre hojas de bromelias a diferentes alturas. *Pristimantis* sp1 fue la única encontrada entre 100 y 120 cm y *G. helenae* la única entre 50 y 80 cm de distancia al suelo.

Figura 17. *Uso de sustrato páramo*



Nota. Uso de sustrato para las especies de Páramo. Las interacciones que presentan un mayor grosor indican un mayor número de individuos en ellas.

La red de interacción arrojó una conectancia media, indicando que hay un número considerable de interacciones entre las especies y el uso de sustrato, sin embargo, no están presentes todas las posibles interacciones dentro de la red. Por otra parte, se presenta una robustez entre media y baja tanto en la robustez de bajo nivel (LL) como en la de alto nivel (HL), esto quiere decir que al eliminar algunos nodos de menor conexión o de mayor conexión se puede llegar a desestabilizar, evidenciando que hay especies que dependen de un sustrato en específico.

Se presenta un anidamiento bajo, indicando una red aleatoria donde no se presenta un nivel considerable de solapamiento entre las especies y el uso de sustrato. Finalmente, el grado de especialización nos indica un bajo nivel, pero el valor más alto comparado con los otros dos biomas. De igual manera el número de registros en este bioma fue considerablemente bajo comparado con el bosque andino y alto andino, lo que genere un sesgo en los datos.

Tabla 8. *Índices red bipartite páramo*

Índice	Valor
Conectancia	0.50
Robustez HL	0.64
Robustez LL	0.49
Peso anidamiento	-0.059
H2	0.26

Nota. Valor para los índices analizados en la red bipartite para el bioma de páramo

3.3 Amenazas antrópicas

Las zonas de amortiguamiento del PNN Tamá se encuentran altamente intervenidas, principalmente por actividades ganaderas que han sido las causantes de la deforestación y la degradación del suelo. El manejo que se le da a esta actividad en los tres biomas estudiados es invasivo, ya que no se hace de una forma óptima que permita un balance entre la actividad antrópica y la conservación del ecosistema, siendo trabajado de esta manera durante muchos años.

Se observaron en diferentes zonas, principalmente de bosque andino, rebaños de ganado sueltos, con acceso a las zonas de bosque aún conservadas, lo que indica una ausencia de cuidado hacía los animales como al bosque que los rodea.

Por otra parte, al ser esta zona territorio limítrofe con la República de Venezuela, años atrás era usual el paso de contrabando mediante mulas por estas localidades, generando cambios en el ecosistema, principalmente en las zonas de Páramo, por el tipo de vegetación presente y la alta sensibilidad a los cambios de este bioma, esto dicho por los mismos habitantes de la zona (Figura 18).

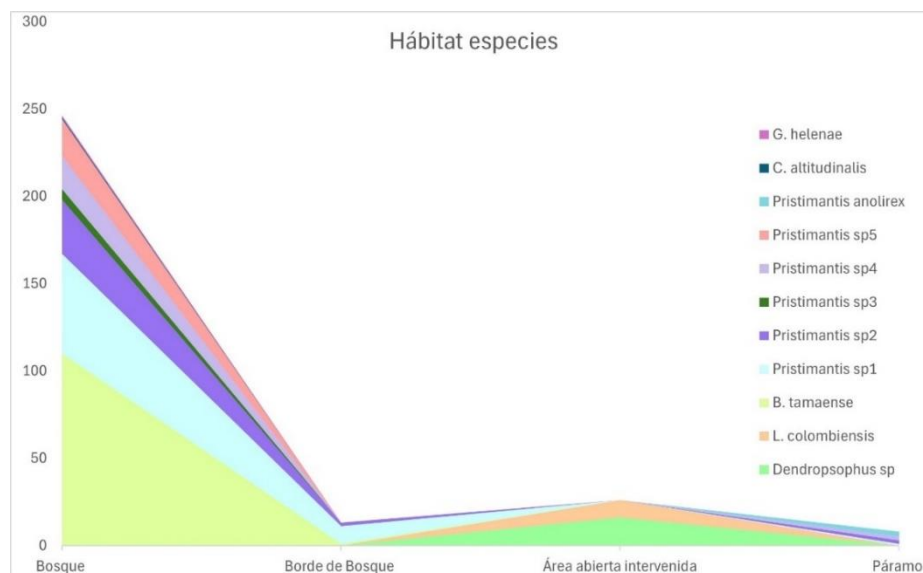
Figura 18. *Fragmentación en las zonas de amortiguamiento del PNN Tamá*



Nota. Áreas intervenidas por las actividades ganaderas en las zonas de amortiguamiento del PNN Tamá, evidenciando una alta deforestación y degradación de los suelos. A. Bosque Alto andino, B. Bosque Andino, C. Páramo. Imágenes tomadas con dron.

Gran parte de las especies de anfibios fueron encontradas en zonas boscosas o de borde de bosque, solo *Dendropsophus* sp y *L. colombiensis* fueron registradas en zonas de potrero intervenidas. De igual manera aquellas especies que se encuentran en Páramo presentan bajas registros y una alta vulnerabilidad a causa de la alta degradación de este bioma.

Figura 19. Hábitat de las especies presentes en los tres biomas



Nota. Especies de los tres biomas estudiados y el hábitat en el cual fueron encontrados.

4. Discusión

Diversidad de anfibios zonas de amortiguamiento del PNN Tamá.

Se observó una mayor diversidad en las zonas de bosque Andino con 9 especies, seguidas del bosque Alto andino con 6, y finalmente las zonas de Páramo con 5. Las familias de anfibios con el mayor número de registros para el orden Anura fueron Strabomantidae e Hylidae y para el orden Caudata la familia Plethodontidae, siendo estas familias las que tienen mayor número de especies registradas en Colombia, con 265, 146 y 27 especies respectivamente (Acosta Galvis, 2023).

La riqueza de anfibios está concentrada en ciertas zonas, haciendo de nuestro país un territorio altamente diverso. Sin embargo, gran parte de las especies se encuentran con datos deficientes, incluyendo aquellas que habitan zonas establecidas para la conservación. Al ser animales poco estudiados no se suelen tener en cuenta como un factor de importancia a la hora de planificar y establecer dichas áreas (Nori et al., 2018).

A pesar del aumento en los últimos años de las zonas protegidas, se desconoce en gran parte el estado de las poblaciones de anfibios que las habitan, teniendo un vacío de información importante (Nori & Loyola, 2015). Las áreas de amortiguamiento se establecen como un territorio de transición entre las zonas pobladas y las áreas protegidas (Cifuentes, 1992). Sin embargo, así como sucede con las áreas protegidas, carecen de información y estudios relevantes sobre las poblaciones de anfibios que se encuentran en ella, hecho que no es excepción en las zonas de amortiguamiento del PNN Tamá.

En las zonas de estudio, se registró el género *Pristimantis*, siendo este el más diverso a del Neotrópico, con una amplia distribución altitudinal habitando localidades a nivel del mar (Reyes-

Puig, et al., 2020) hasta los 4000 m.s.n.m. (Acevedo et al., 2022). Las especies de este género se caracterizan por tener desarrollo directo, lo que significa que no dependen directamente de cuerpos de agua para reproducirse, lo que les ha permitido ocupar una amplia variedad de hábitats, desde zonas bajas hasta alta montaña y páramo (Señaris & Rojas-Runjaic, 2020). Esto explica su alta abundancia en nuestras zonas de estudio con un total de 251 individuos distribuidos en 6 especies en los tres biomas muestreados.

Por otra parte, para la familia Hylidae se registró *Dendropsophus* sp, considerada una especie generalista, es decir, que presenta aptitudes para adaptarse a la intervención del hábitat, utilizando los recursos que va teniendo disponibles de manera óptima. En estudios realizados en diferentes hábitats, se ha evidenciado que su abundancia disminuye a medida que aumenta la altitud (Higuera-Rojas & Carvajal-Cogollo, 2021), concordando con nuestro resultados, donde en bosque andino se registraron 90 individuos y en bosque alto andino 34 todos en zonas abiertas.

Finalmente, para la familia Plethodontidae, se registró *B. tamaense*, una especie de salamandra que se encuentra restringida a las zonas del PNN Tamá y sus áreas de amortiguamiento, habitando parches de bosque bien conservados, lo que la hace una especie vulnerable a los cambios, presentando menor abundancia a mayor altitud (Acevedo et al., 2014), con 78 individuos en bosque andino y 37 en bosque alto andino.

En la zona de bosque andino, se registraron dos especies únicas correspondientes a *L. colombiensis* con 60 individuos y *C. altitudinalis* con un único individuo, siendo esta última una especie registrada en el estado de Mérida, Venezuela, deduciendo que este registro se pudo obtener gracias a la cercanía de la localidad de muestreo con el límite al país vecino (Barrio-Amorós et al., 2019).

En la zona de Páramo también se registraron dos especies restringidas es este bioma que corresponden a *P. anolirex* con 3 individuos y a *G. helenae* con 1 individuo, distribuidas en el PNN Tamá y sus zonas de amortiguamiento habitando principalmente zonas de sub-páramo y Páramo (Rios-Soto et al., 2015). Un estudio realizado por Saboyá Acosta & Urbina-Cardona, en 2023, llevo a cabo una recopilación de datos de los diferentes complejos de páramos distribuidos en el país, evidenciando un alto nivel de endemismo para cada uno de estos complejos. Sin embargo, la zona este comparte ciertas especies con la zona central. Las especies registradas para el páramo del Tamá solo se encuentran distribuidas en la zona este del país, y *G. helenae* se encuentra restringida a las zona del macizo del Tamá entre Colombia y Venezuela (Acevedo et al., 2011).

En el bioma de Páramo la curva de completitud no logró una asíntota, esto pudo deberse a que se realizó la fase de campo en una época seca del año, lo que generó un bajo número de registros. De igual manera el esfuerzo de muestreo en esta zona fue menor debido al difícil acceso a la localidad con un total de 40 horas, a diferencia del bosque Andino y alto andino con 130 horas para cada uno. En otro estudio realizado por Acevedo et al., 2011, en las zonas del Páramo del Tamá en épocas de lluvia, registraron un total de 70 individuos de *G. helenae* por encuentro visual como registros bioacústicos, reflejando como afecta la estacionalidad en actividad de las especies de Páramo.

En un estudio realizado en el complejo del Almorzadero, páramo cercano a la zona de muestreo, se registró la especie *P. anolirex* como la más abundante (Cabrera Pacheco, J. 2017). Tanto en este estudio como otro realizado en el páramo de Chingaza por Duarte-Ballesteros et al., en 2021, se registró la presencia de especies de *Dendropsophus* que comparten su hábitat con otras especies de *Pristimantis* en las zonas de páramo. En el muestreo realizado en las partes del bosque

alto andino cercanas al páramo del Tamá se registró la especie *Dendropsophus* sp. El hecho de no haberla registrado en las zonas más altas puede deberse a la época de verano, misma razón por la que se obtuvo un bajo número de registros en las demás especies.

A partir de las curvas de rango-abundancia, se evidenció una diferencia considerable para las especies registradas en el bosque andino con poca uniformidad en la distribución de las abundancias, reflejando la presencia de especies dominantes en la comunidad en contraste con especies raras con bajo número de registros. Por otra parte, para las zonas de bosque alto andino y páramo se presenta una distribución más equitativa entre las especies que conforman la comunidad. Estos patrones de distribución se han evidenciado en diferentes estudios que abarcan la diversidad de varios biomas, donde a medida que se disminuye altitudinalmente aumenta la abundancia y riqueza de especies y así mismo disminuyendo a medida que aumenta la altitud (Roach et al., 2020).

Una de las razones por las cuales se puede presentar este patrón en la diversidad de anfibios es por las variables climáticas como temperatura, humedad y la variabilidad estructural en la vegetación, que influye en la reducción de formas reproductivas, principalmente en zonas de páramo, las cuales son más afectadas por los cambios estacionales y la intensidad lumínica, presentando una mayor presencia de especies endémicas restringidas a estas zonas, especializadas en las condiciones abruptas que pueden presentar estos ecosistemas (Urbina Cardona, 2010).

Para las zonas protegidas y algunas localidades de las zonas de amortiguamiento que corresponden al PNN Tamá, se realizó un estudio por Acevedo et al., 2016, donde se registraron un total de 14 especies, de los géneros *Tachiramantis*, *Pristimantis*, *Dendropsophus*, *Centrolenidae*, *Gastrotheca* y *Bolitoglossa*, compartiendo con nuestros resultados la presencia de algunas especies como *P. anolirex*, *B. tamaense*, *G. helenae*. De estas 14 especies, 8 fueron

registradas en zonas de bosque Andino, 9 en zonas de arroyos, y 9 en áreas abiertas, con dos especies endémicas que corresponden a *B. tamaense* y *G. helenae*, obteniendo una mayor riqueza de especies para las zonas de bosque andino y alto andino asociadas a cuerpos de agua y para zonas abierta o de páramo en contraste con nuestros resultados, donde el total se registraron 11 especies, con 9 especies para la zona andina, 6 para zona alto andino y 5 para la zona de páramo

A pesar de que en este estudio realizaron un mayor número de muestreos en campo comparado con el nuestro, nuestras horas de muestreo fueron más extensas logrando un número de individuos registrados similar (554), en comparación a este estudio (541). De igual manera, al realizar la fase de campo en un lapso más largo de tiempo, lograron muestreos en épocas de lluvia, lo que pudo permitir el registro de un mayor número de especies.

De manera que entre las zonas protegidas y las zonas de amortiguamiento se comparten poblaciones de anfibios principalmente aquellos que presentan alguna categoría de amenaza establecida por la IUCN, como lo son *B. tamaense*, *G. helenae*, *P. anolirex*, donde las zonas de amortiguamiento deberían desempeñar un papel crucial como áreas de transición entre la zona protegida y los asentamientos humanos disminuyendo la presión que ejercen las zonas productivas sobre el área protegida (Calderón, 2019), sin embargo, en muchos casos se ha visto que estas zonas productivas están generando extinciones locales de especies debido al alto impacto causado por las actividades antrópicas, estos hechos replantean la extensión de las áreas protegidas y el manejo que se le da a las zonas buffer (Albornoz-Espinel et al., 2017).

Las zonas que hacen parte del área protegida del PNN Tamá se encuentran en óptimas condiciones, con un alto porcentaje de bosques prístinos, albergando el nacimiento de ocho cuencas hidrográficas importantes para Colombia y Venezuela, haciendo parte de la Eco región Macizo Tamá, un bloque montañoso geológico y geomorfológico compartido por estos dos países

(PNN Tamá, 2022). Por otra parte, las zonas de amortiguamiento o de transición presentan una alta intervención y fragmentación del hábitat principalmente por actividades antrópicas, siendo los bosques de montaña y alta montaña los más afectados por este tipo de actividades (Velasco-Linares & Vargas, 2008), lo que ha generado una presión en las poblaciones de anfibios.

A pesar de que pudimos evidenciar que varias de las especies que se encontraron en las zonas protegidas se registraron en las zonas de amortiguamiento, dichas zonas carecen de programas de monitoreo constantes a las poblaciones de anfibios, que permitan entender de una manera más clara el estado de las poblaciones. En otros estudios realizados en diferentes zonas protegidas de Colombia se ha evidenciado la misma problemática, donde las áreas de amortiguamiento carecen de estudios y monitoreos suficientes que permitan fortalecer la conservación principalmente de especies endémicas restringidas geográficamente, como es el caso de un estudio realizado por Duarte-Marín et al., 2018 en la cordillera central.

Caracterización de microhábitat

Los bosques montanos y páramos son biomas que presentan una mayor afectación a las fluctuaciones de temperatura y humedad debido a la altitud a la que se encuentran, con mayor incidencia de los rayos UV y la presencia de vegetación más sensibles, haciendo que las especies de anfibios asociadas a estos biomas presenten especializaciones que les permiten sobrevivir a las bajas de temperatura y a la disminución de recursos disponibles a medida que aumenta la altitud (Urbina Cardona, 2010).

La especie *Dendropsophus* sp, se diferencia frente a las demás en sus variables de humedad y temperatura, esto se debe a que se encontraron en zonas de charcos en áreas abiertas, siendo este su principal hábitat, presentando en el bosque Alto andino un promedio de temperatura ambiental

de 10.8 y temperatura corporal de 9.8 grados centígrado con un 89% de humedad, y para el bosque Andino 14.5 y 13 grados respectivamente junto con 80% de humedad. Las especies de anfibios del género *Dendropsophus* que habitan zonas altas y abiertas suelen presentar rangos de tolerancia a la temperatura mayores denominada plasticidad térmica, caracterizándose también por adaptarse con facilidad al medio en el cual se encuentran, aprovechando los recursos que tienen disponibles (Guarnizo et al., 2012). En el bosque alto andino los charcos y arroyos que se ubicaban en los potreros se encontraban cubiertos por diferentes especies de plantas, por lo que registramos a *Dendropsophus* sp perchadas en alturas altas y medias en hojas y tallos, a diferencia del bosque Andino donde se registraron en alturas medias y bajas principalmente en cuerpos de agua y gramíneas.

Las especies de *Pristimantis* registradas en los tres biomas presentan diferentes rangos de temperatura y humedad promedio dependiendo el lugar donde se registraron. Este género se encuentra ampliamente distribuido altitudinalmente, teniendo rangos de temperatura corporal que varían dependiendo de los valores de temperatura ambiental y el ecosistema que habitan, de manera que se ha establecido que este género presenta adaptaciones a su habitan que les permiten realizar sus funciones metabólicas cuando se encuentran a bajas temperaturas (González-del-Pliego et al., 2023). Estos factores adaptativos les han permitido colonizar zonas alta y de páramo, como es el caso del estudio realizado por Carvajalino-Fernández et al., 2021, en especies de *Pristimantis* que habitan zonas de páramo, donde a partir de los picos de glucosa logran presentar tolerancia al congelamiento y de esta manera sobrevivir a las bajas de temperatura.

Pristimantis sp1, *Prsitimantis* sp2 y *Pristimantis* sp4, re registraron en los tres biomas estudiados, presentando una relación directa de su temperatura corporal con la temperatura del ambiente, es decir presentaron valores promedios de temperatura corporal acorde a la temperatura

ambiente de cada uno de los biomas, con valores que van desde los 6.2 grados para algunos individuos de zonas de páramo hasta los 17.7 grados para individuos que habitan bosque andino. Estos registros soportan lo reportado en otros estudios realizados en este género donde hay una fuerte relación entre las variables ambientales y las temperaturas corporales presentadas por los individuos, presentando una variable físico-térmica mediada por la altitud (Bernal Castro, E. 2019).

Leptodactylus colombiensis y *Centrolene altitudinalis*, se registraron en zonas andinas esto se debe a la distribución altitudinal de estas especies que va desde los 300 a los 2300 m.s.n.m (IUCN, 2020), y de los 1400 a los 2400 m.s.n.m (Señaris & Lampo, 2022) respectivamente. *L. colombiensis* es una especie de zonas abiertas, que es más común encontrarla en estribaciones montañas y bosques secos (Acosta-Galvis, 2017), sin embargo, sus registros se llevaron a cabo en promedio en una temperatura ambiental y corporal de 14 grados, donde los individuos fueron encontrados dentro de cuerpos de agua, siendo este su principal hábitat. Este género se caracteriza por presentarse en una zona de transición entre un hábitat acuático y la zona terrestre, principalmente por su biología reproductiva, así como capacidades para absorber, encontrar y mantener baja su pérdida de agua lo que le permite habitar zonas bajas, hábitats xéricos o lugares intervenidos (Cruz-Piedrahita et al., 2018).

Por otra parte *C. altitudinalis*, no cuenta con mucha información disponible sobre sus preferencias de microhábitat y datos de historia de vida. A pesar de que obtuvimos un solo registro, pudimos encontrarla en un microhábitat muy específico sobre una roca en la orilla de una quebrada. La familia Centrolenidae se caracteriza por habitar zonas de bosque y sotobosque, teniendo hábito arbóreo, depositando sus huevos en hojas y rocas cercanas a arroyos o cuerpos de agua (Cisneros-Heredia & Mcdiarmid, 2007)

Bolitoglossa tamaense, es una especie endémica de las zonas andinas y alto andinas del Tamá, que hacen parte de Colombia y Venezuela de la cual no se tiene una información muy amplia sobre su microhábitat (Barrio-Amorós et al., 2015). En el año 2013 se realizó la descripción de esta especie por Acevedo et al., junto con datos de historia de vida que nos permitieron determinar el hábitat idóneo de ellas. Logramos registrar actividad hasta las 2:00 am, ampliando el rango establecido en el estudio previamente nombrado. También pudimos notar el amplio uso de sustrato, junto con una amplia distribución en la altura de percha. Fue una especie bastante abundante en las zonas de bosque conservado, presentando para el bosque Alto andino una temperatura ambiental promedio de 11.2 y temperatura corporal de 11 grados centígrados con humedad del 85%. Para el bosque Andino presento una temperatura ambiental promedio de 15 y corporal de 14.5 grados junto con una humedad de 80%.

Otra especie endémica de las zonas del Tamá es *G. helenae*, que habita zonas de bosque Alto andino y Páramo de la cual no se tiene una amplia información de su historia natural. Acevedo et al., en 2011, realizo un muestreo en las zonas del Tamá en diferentes estaciones del año. Para la época seca en el mes de diciembre registro 11 individuos en contraste con la época de lluvia en el mes de agosto donde reporto 45 individuos, al borde de pajonales y sobre frailejones, con temperaturas entre 6 y 8 grados centígrados en las zonas abiertas. Nuestro muestreo en la zona de Páramo se realizó en el mes de enero del 2024 en época seca donde las temperaturas en las áreas abiertas llegaron hasta los 2 grados centígrados. El único individuo registrado fue hallado en la zona de subpáramo perchado en una bromelia, en medio de un pequeño parche de bosque, presentando una temperatura ambiental y corporal de 11 grados. Al igual que las demás especies de *Pristimantis* con las que comparte hábitat, fueron encontradas en riachuelos o entre bromelias.

Esto es un indicio de la susceptibilidad de *G. helenae* frente a las fluctuaciones ambientales, lo que puede estar afectando a la población de manera considerable en estas zonas del Tamá. Es recomendable continuar realizando estudios de monitoreo en diferentes épocas del año, tanto a esta especie como a los demás anuros que habitan las zonas de Páramo, ya que los cambios en la temperatura son una de las causas principales del declive de las poblaciones de anfibios de alta montaña (Survey et al., 2002).

Los anfibios son animales ectotermos, es decir, que para mantener una temperatura corporal adecuada se adaptan a la temperatura externa del ambiente en el cual se encuentren, por lo tanto la regulación de su temperatura es de gran importancia para el debido desarrollo de sus actividades fisiológicas (Iturra-Cid, 2014). Todas las especies registradas presentan una temperatura corporal similar a la temperatura ambiental registrada, demostrando que son especies termoconformes. Esta condición según un estudio realizado por Cruz et al., en 2016 sobre la ecología térmica en la especie *Bolitoglossa ramosi*, indica que presentan termorregulación tigmotérmica, donde adquieren calor del medio o sustrato en el que se encuentren.

El amplio uso de sustratos en el bosque andino y altoandino indica la presencia de especies generalistas, que presentan una alta robustez en sus interacciones. En estos casos, si los sustratos utilizados por la mayoría de las especies fueran eliminados, los sustratos menos utilizados seguirían manteniendo estables las interacciones entre las especies, el lugar de su percha y la altura de esta. Por otra parte, el bioma de páramo no presenta interacciones estables; estas se dan de manera aleatoria, con una baja robustez, donde, si se eliminara alguno de los sustratos más utilizados, las interacciones se verían afectadas.

Amenazas antrópicas

Las zonas de alta montaña y páramo continúan siendo transformadas por diferentes actividades antrópicas, generando gran impacto principalmente en animales de baja dispersión como los anfibios (Agudelo-Hz et al., 2019). Al ser animales que requieren de un microhábitat específico para poder subsistir, se ven vulnerados por cualquier cambio mínimo de su entorno en especial aquellos que habitan principalmente zonas boscosas y cuerpos de agua (Peltzer, P. et al., 2005), como lo es el hábitat de gran parte de las especies que registramos en las zonas de amortiguamiento del PNN Tamá.

La ganadería es una de las actividades que mayor impacto genera en el uso del suelo, presentando una tendencia a disminuir las áreas de bosque, causando el aumento de potreros y pastizales (Gómez et al., 2011), siendo la principal actividad económica de las comunidades que radican las zonas de muestreo, caracterizándose por la producción lechera. El manejo de la ganadería en estas zonas se ha realizado de manera invasiva durante muchos años, talando los bosques y degradando los suelos. La falta de conocimiento en las comunidades sobre los diferentes métodos productivos que existen hoy en día como los sistemas silvopastoriles o estabulados, donde se realiza una ganadería sostenible, que integra la actividad productiva con diferentes procesos de restauración, generando un beneficio mutuo tanto para las personas productoras como para el ecosistema (Calle et al., 2012), es un vacío de información importante a tratar en estas localidades.

La cercanía de estas zonas con el límite con Venezuela permitió el auge del contrabando en los años 80 en el Municipio de Toledo como otras localidades de Norte de Santander, siendo la principal mercancía el ganado y algunos productos agrícolas (Mazuera-Arias et al., 2019). A partir de varias entrevistas realizadas a los locales pudimos entender el manejo de esta actividad, la cual era realizada con mulas de carga que transitaban constantemente esta zona con productos agrícolas

y ganado de un país al otro, generando un alto impacto principalmente en las zonas de páramo, donde tomaban los frailejones y hacían una cama para los campamentos que realizaban cuando llegaba la noche y se encontraban en esa parte del camino, nos cuenta Aura Marina, residente de la vereda Samaria.

Por otra parte, enfermedades emergentes como el *Batrachochytrium dendrobatidis* ha afectado a las poblaciones de anfibios a nivel mundial, siendo un hongo que puede sobrevivir a un amplio rango de temperaturas e infectar de manera inicial la epidermis llegando a expandirse por todo el cuerpo del animal desencadenando problemas tisulares, úlceras, malformaciones, entre otras (Bravo & Moreno, 2019). Acevedo et al., en 2016 realizó una toma de muestras de este hongo a los anfibios residentes de las zonas del Tamá, abarcando nuestras mismas localidades, pero diferentes puntos de muestreo de las poblaciones, donde se determinaron 100 individuos infectados de los 541 individuos registrados en total, encontrando una mayor prevalencia en los individuos registrados en zonas intervenidas a comparación de los individuos encontrados en zonas conservadas y de bosque. El principal medio de dispersión de *B. dendrobatidis* es mediante cuerpos de agua, esporas y contacto directo con animales infectados, donde la presencia humana puede tener una alta influencia en esta dispersión, así como investigadores con malas prácticas de campo al momento de manipular animales (Fisher et al., 2009).

De manera que estas zonas han sido altamente perturbadas por diferentes actividades antrópicas, lo cual continúa generando un impacto negativo en las poblaciones de anfibios, por lo que se sugieren planes de restauración y de educación comunitaria que permita dar a conocer nuevas formas de manejar sus actividades económicas permitiendo un balance entre la parte productiva y la conservación tanto del ecosistema como los anfibios que lo habitan.

5. Conclusiones.

A partir de este estudio se pudo establecer que las poblaciones de anfibios principalmente aquellos que presentan alguna categoría de amenaza y son endémicas del macizo del Tamá (*Gastrotheca helenae*, *Bolitoglossa tamaense*) habitan las zonas protegidas del parque junto con sus áreas de amortiguamiento.

Se presentó una mayor riqueza de especies en el bioma de bosque andino (9), seguido de bosque alto andino (6), y finalmente el páramo (5). Dichas especies presentan diferencias significativas en sus variables micro climáticas requeridas, así como un uso de sustrato principalmente generalista. Así mismo, se evidenció en algunos biomas como se están viendo afectadas las especies por las fluctuaciones climáticas, comparado con estudios anteriores.

Se pudo constatar como las actividades productivas en estas zonas, principalmente la ganadería, han generado una alta degradación del suelo, afectando la presencia de especies en bordes de bosques y áreas abiertas, registrando únicamente *Leptodactylus colombiensis* y *Dendropsophus sp.*

Con los resultados obtenidos se sugiere un mayor monitoreo en las zonas de amortiguamiento del PNN Tamá, junto con el acompañamiento a las comunidades en procesos educativos que permitan vincular sus actividades productivas con la conservación de las especies allí presentes.

Referencias bibliográficas

- Acevedo, A. A., Armesto, O., Franco, R., & Silva, K. (2014). *Bolitoglossa tamaense*. 2(1), 36–39.
- Acevedo, A. A., Palma, R. E., & Olalla-Tárraga, M. Á. (2022). Ecological and evolutionary trends of body size in *Pristimantis* frogs, the world's most diverse vertebrate genus. *Scientific Reports*, 12(1), 1–13.
- Acevedo, A. A., Silva, K. L., Franco, R., & Lizcano, D. J. (2011). Distribución, historia natural y conservación de una rana marsupial poco conocida, *Gastrotheca helenae* (Anura: Hemiphractifae), en el Parque Nacional Natural Tamá, Colombia. *Bol. Cient. Mus. Hist. Nat.*, 15(1), 68–74.
- Acevedo, A. A., Wake, D. B., Marquez, R., Silva, K., Márquez, R., Silva, K., Franco, R., & Amézquita, A. (2013). Two new species of salamanders, genus *Bolitoglossa* (Amphibia: Plethodontidae). *Zootaxa*, 3609(1), 69–84.
- Acosta Galvis, A. R. (2023). Lista de los Anfibios de Colombia: Referencia en línea V.13.2023 (26/05/2023). Pagina web accesible en <http://www.batrachia.com>; Batrachia, Villa de Leyva, Boyacá, Colombia.
- Acosta-Galvis, A. R. (2017). Batracofauna de los bosques de niebla y estribaciones piemontanas en el municipio Yopal (Casanare: Colombia). *Biota Colombiana*, 18(1), 281–314.
- Agudelo-Hz, W. J., Urbina-Cardona, N., & Armenteras-Pascual, D. (2019). Critical shifts on spatial traits and the risk of extinction of Andean anurans: an assessment of the combined

- effects of climate and land-use change in Colombia. *Perspectives in Ecology and Conservation*, 17(4), 206–219.
- Albornoz-Espinel, M. M., Cáceres-Martínez, C. H., & Acevedo-Rincón, A. A. (2017). Protected areas assessment for the conservation of threatened amphibians in the Cordillera Oriental of Colombia. *Herpetology Notes*, 10(November), 685–696.
- Angulo, A., (2002). Anfibios y paradojas: perspectivas sobre la diversidad y las poblaciones de anfibios. *Ecología Aplicada*, 1(1), 105-109.
- Arango, C., Dorado, J., Guzmán, D., & Ruíz, J. F. (2015). Variabilidad climática de la precipitación en Colombia asociada al ciclo El Niño, La Niña- Oscilación del Sur (ENSO). *Ideam*, 103–111.
- Arias, R. M., Arias, N. A., Alves, G. B., & Ortiz, F. A. (2019). Corrupción y contrabando en la frontera Norte de Santander (Colombia) y Táchira (Venezuela). *Revista de ciencias sociales*, 25(1), 170-186.
- Badii, M. H., & Castillo, J. (2017). Análisis de correlación canónica (ACC) e investigación científica. *Revista Innovaciones de Negocios*, 4(8), 405–422.
- Barrio-Amorós, C. L., Chacón-Ortiz, A., & Rojas-runjaic, F. J. M. (2015). First report of the salamanders *Bolitoglossa leandrae* and *B. tamaense* (Urodela , Plethodontidae) for Venezuela. *Amphibian & Reptile Conservation*, 9(2), 95–99.

- Barrio-Amorós, C. L., Rojas-Runjaic, F. J. M., & Señaris, J. C. (2019). Catalogue of the amphibians of Venezuela: Illustrated and annotated species list, distribution, and conservation. *Amphibian & Reptile Conservation*, 13(1), 1–198.
- Bascompte, J., Jordano, P., Melián, C. J., & Olesen, J. M. (2003). The nested assembly of plant–animal mutualistic networks. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 100(16), 9383–9387.
- Bravo, J., & Moreno, G. (2019). Quitridiomycosis en anfibios. *Bol. Soc. Micol. Madrid*, 44, 27–50.
- Bernal, E. A. (2010). *Uso y preferencia de microhabitat de reptiles y anfibios en un gradiente de vegetación en un agroecosistema del departamento del Huila*. Recuperado de: <http://hdl.handle.net/10554/8511>.
- Cabrera Pacheco, J. (2017). Diversidad de anuros en diferentes coberturas vegetales presentes en el complejo páramo de almorzadero, Colombia. Ibagué : Universidad del Tolima, 2017.
- Calderón Soto, L. M. (2019). Zonas de amortiguamiento como herramienta clave para la gestión de áreas silvestres protegidas y sus comunidades aledañas. *Ambientico*, 52–58.
- Calle, Z., Murgueitio, E., & Chará, J. (2012). Integración de las actividades forestales con la ganadería extensiva sostenible y la restauración del paisaje. *Unasylva*, 63(1), 31–38.
- Carvajalino-Fernández, J. M., Bonilla Gomez, M. A., Giraldo-Gutiérrez, L., & Navas, C. A. (2021). Freeze tolerance in neotropical frogs: An intrageneric comparison using

- Pristimantis species of high elevation and medium elevation. *Journal of Tropical Ecology*, 37(3), 118–125.
- Chao, A., Gotelli, N. J., Hsieh, T. C., Sander, E. L., Ma, K. H., Colwell, R. K., & Ellison, A. M. (2014). Rarefaction and extrapolation with Hill numbers: A framework for sampling and estimation in species diversity studies. *Ecological Monographs*, 84(1), 45–67.
- Chao, A. and Jost, L. (2015). Estimating diversity and entropy profiles via discovery rates of new species. *Methods in Ecology and Evolution*, 6, 873-882.
- Cifuentes, M. (1992). Establecimiento y manejo de zonas de amortiguamiento. In *Forestal Centroamericana* (pp. 17–22).
- Cisneros-Heredia, D. F., & McDiarmid, R. W. (2007). Revision of the characters of Centrolenidae (Amphibia: Anura: Athesphatanura), with comments on its taxonomy and the description of new taxa of glassfrogs. In *Zootaxa* (Issue 1572).
- Clavijo, L. A. G. (2018). Formulación de plan de recuperación y manejo de coberturas forestales en el área de amortiguación del Parque Nacional Natural Chingaza, Municipio de Fómeque. Repositorio.Unbosque.Edu.Co
- Crump, M.L And Scott,N.J, Jr. (1994). Visual encounter survey.In: Heyer, W.R.Donnelly, MA; McDiarmid, R.W, Donnelly, Heyek, L.C, and Foster, M.S.(Eds) Measuring and monitoring Biological diversity, Standard Methods for Amphibians Smithsonian Institution Press, Washington D.C: pp 84-91.

- Cruz-Piedrahita, C., Navas, C. A., & Crawford, A. J. (2018). Life on the edge: A comparative study of ecophysiological adaptations of frogs to tropical semiarid environments. *Physiological and Biochemical Zoology*, *91*(1), 740–756.
- Corponor. (2015). Permiso marco de recolección de especímenes silvestres de la diversidad biológica con fines de investigación científica no comercial. Resolución N°000200 de 13 Abril 2015. Corporación Autónoma Regional de La Frontera Nororiental (Corponor), 1–14.
- Corponor. (2017). Parques Nacionales Naturales De Colombia Dirección Territorial Andes Nororientales Plan De Manejo. 097, 1–306.
- Cruz, E. X., Galindo, C. A., & Bernal, M. H. (2016). Dependencia térmica de la salamandra endémica de Colombia *Bolitoglossa ramosi* (Caudata, Plethodontidae). *Iheringia - Serie Zoologia*, *106*, 1–5.
- Dormann C, Fruend J, Bluethgen N, Gruber B (2009). “Indices, graphs and null models: analyzing bipartite ecological networks.” *The Open Ecology Journal*, *2*, 7-24.
- Duarte-Ballesteros, L., Urbina-Cardona, J. N., & Saboyá-Acosta, L. P. (2021). Anuran assemblages and spatial heterogeneity in a paramo ecosystem of Colombia. *Caldasia*, *43*(1), 126–137.
- Duarte-Marín, S., González-Acosta, C., & Vargas-Salinas, F. (2018). Structure and composition of amphibian assemblages in three types of habitat in the National Natural Park Selva de

- Florencia, Colombian Central Cordillera. *Revista de La Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*, 42(163), 227–236.
- Fisher, M. C., Garner, T. W. J., & Walker, S. F. (2009). Global emergence of *Batrachochytrium dendrobatidis* and amphibian chytridiomycosis in space, time, and host. *Annual Review of Microbiology*, 63, 291–310.
- Galeano, S. P., Urbina, J. C., Gutierrez-C, M., & Paez, V. P. (2006). D. Vertebrados terrestres y sus hábitats a. Los anfibios de Colombia, diversidad y estado del conocimiento. Informe Nacional Sobre El Avance En El Conocimiento y La Información de La Biodiversidad 1998 – 2004, June 2014, 273–282.
- González-del-Pliego, P., Freckleton, R. P., Scheffers, B. R., Basham, E. W., Acosta-Galvis, A. R., Medina Uribe, C. A., Haugaasen, T., & Edwards, D. P. (2023). Phylogeny and Morphology Determine Vulnerability to Global Warming in *Pristimantis* Frogs. *Land*, 12(1).
- Gómez, M. J., Gutiérrez, I., Benjamin, T., Casanoves, F., & de Clerck, F. (2011). Conservación y conocimiento local de la herpetofauna en un paisaje ganadero. *Agroforestería En Las Américas*, 48(Cupples), 65–75.
- Guarnizo, C. E., Escallón, C., Cannatella, D., & Amézquita, A. (2012). Congruence between acoustic traits and genealogical history reveals a new species of *Dendropsophus* (Anura: Hylidae) in the high Andes of Colombia. *Herpetologica*, 68(4), 523-540.

- Higuera-Rojas, D. F., & Carvajal-Cogollo, J. E. (2021). Diet of *Dendropsophus* sp (Anura: Hylidae) in a High-Andean agricultural ecosystem, Colombia. *Universitas Scientiarum*, 26(1), 119–137.
- Hunter, J.D. (2007) "Matplotlib: A 2D Graphics Environment", *Computing in Science & Engineering*, vol. 9, no. 3, pp. 90-95.
- Iturra-Cid, M. (2014). Winter Thermal Leptodactylidae, Ecology Of *Pleurodema* Amphibia : *Gayana*, 78(1), 25–30.
- IUCN SSC Amphibian Specialist Group. (2020). *Leptodactylus colombiensis*. *The IUCN Red List of Threatened Species* 2020: Accessed on 01 October 2024.
- Jost, L., Gonz, A., & Benem, O. (2012). de Shannon. January 2012.
- Kindt R, Coe R (2005). *Tree diversity analysis. A manual and software for common statistical methods for ecological and biodiversity studies*. World Agroforestry Centre (ICRAF). ISBN 92-9059-179-X.
- Mazuera-Arias, R., Albornoz-Arias, N., Biasoli-Alves, G., & Ortiz, F. A. (2019). Corrupción y contrabando en la frontera Norte de Santander (Colombia) y Táchira (Venezuela). *Revista de Ciencias Sociales*, XXV.
- McKinney, W. (2011). pandas: a foundational Python library for data analysis and statistics. *Python for high performance and scientific computing*, 14(9), 1-9.

- Moreno, C. E., Barragán, F., Pineda, E., & Pavón, N. P. (2011). Reanálisis de la diversidad alfa: Alternativas para interpretar y comparar información sobre comunidades ecológicas. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 82(4), 1249–1261.
- Moreno, C. (2020). Pautas para la estimación y comparación estadística de la diversidad biológica (q D). Diciembre 2019.
- Morin, P. J., & Verhoef, H. A. (2010). Community ecology. *Ecology and Natural History of Tropical Bees*, 313–389.
- Nori, J., & Loyola, R. (2015). On the worrying fate of data deficient amphibians. *PLoS ONE*, 10(5), 8–15.
- Nori, J., Villalobos, F., & Loyola, R. (2018). Global priority areas for amphibian research. *Journal of Biogeography*, 45(11), 2588–2594.
- Lips, K., & Reaser, J. (1999). El Monitoreo de Anfibios en América Latina. *Society for the Study of Amphibians and Reptiles, Herpetological Circular*, 30(11), 1–117.
- Oksanen J, Blanchet FG, Kindt R, Legendre P, Minchin PR, O'Hara RB. (2013). Vegan: Community Ecology Package. R package version 2.0-8. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/314115977_vegan_Community_Ecology_Package_R_package_version_20-8

- Peltzer, P. M., Lajmanovich, R. C., Attademo, A. M., & Cejas, W. (2005). Diversidad y conservación de anuros en ecosistemas agrícolas de Argentina: implicancias en el control bio- lógico de plagas. *3016*, 399–416.
- Reyes-Puig, C., Yáñez-Muñoz, M., Ortega, J., Ron, S. (2020). Relaciones filogenéticas del subgénero *Hypodictyon* (Anura: Strabomantidae: *Pristimantis*) con la descripción de tres especies nuevas de la región del Chocó. *Revista Mexicana de Biodiversidad* 91: e913013.
- Rios-Soto, J. A., Arango-Lozano, J., & Rivera-Molina, F. A. (2015). *Catalogo De Anfibios Y Reptiles De Colombia Vol 3*. 3(3), 28–35.
- Roach, N. S., Urbina-Cardona, N., & Lacher, T. E. (2020). Land cover drives amphibian diversity across steep elevational gradients in an isolated neotropical mountain range: Implications for community conservation. *Global Ecology and Conservation*, 22, e00968.
- Saboyá Acosta, L. P., & Urbina-Cardona, J. N. (2023). Current State of Knowledge of Páramo Amphibians in Colombia: Spatio Temporal Trends and Information Gaps to Be Strengthened for Effective Conservation. *Tropical Conservation Science*, 16, 1–23.
- Señaris, J.C. & Lampo, M. (2022). *Centrolene altitudinalis* (amended version of 2020 assessment). *The IUCN Red List of Threatened Species 2022*: Accessed on 01 October 2024.
- Señaris, C., & Rojas-Runjaic, F. J. M. (2020). *Amphibians and Reptiles of Venezuelan Guayana: Diversity, Biogeography and Conservation*.

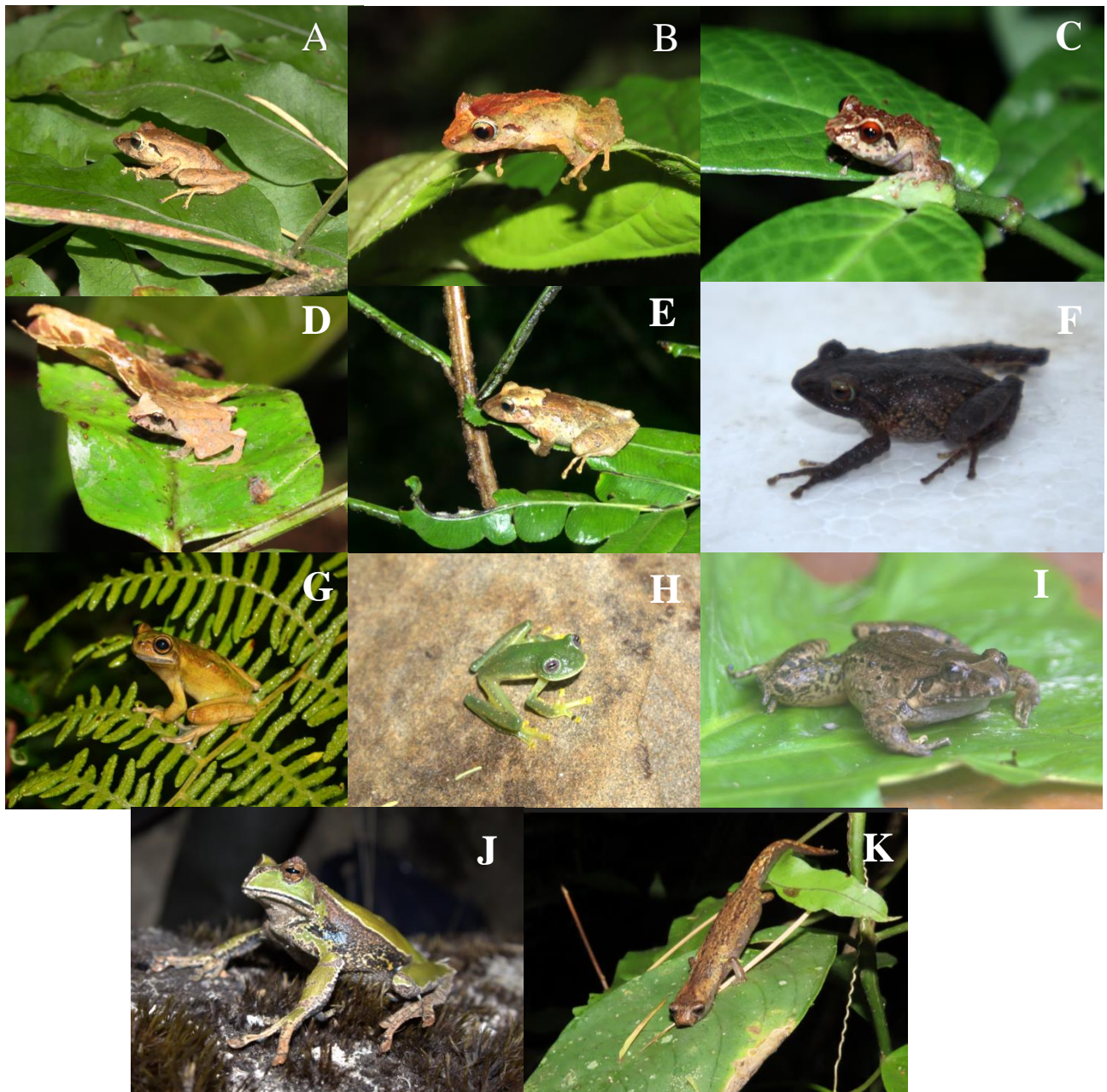
- Šlenker, M., Koutecký, P., Marhold, K. (2022). “MorphoTools2: an R package for multivariate morphometric analysis.” *Bioinformatics*, **38**(10), 2954-2955.
- Survey, G., Rocky, N., Science, M., Survey, U. S. G., Ecological, M., & Collins, F. (2002). Variable Breeding Phenology Affects the Exposure of. *America*, **83**(11), 2958–2963.
- Urbina Cardona, J. N. (2010). Y Patrones De Endemismo En Anfibios Y Reptiles De Colombia : *Facultad de Ciencias Basicas*, **7**(1), 74–91.
- Valverde, J. A. (2022). Propuesta metodológica para la delimitación de zonas de amortiguamiento en la planificación de espacios protegidos en Costa Rica. 35– 50.
- Velasco-Linares, P., & Vargas, O. (2008). Problemática de los bosques altoandinos. Estrategias para la restauración ecológica del bosque alto andino (El caso de la Reserva Forestal Municipal de Cogua, Cundinamarca), 41-56.
- Waskom, M. L., (2021). seaborn: statistical data visualization. *Journal of Open Source Software*, **6**(60), 3021
- Zúñiga, E. A. B. (2023). Anfibios. *Ecofronteras*, 32-35.

Apéndices

Apéndice A. Archivo adjunto al documento

Apéndice B. Archivo adjunto al documento

Apéndice C. Fotografía especies registradas



Nota. A) *Pristimantis* sp1. B) *Pristimantis* sp2. C) *Pristimantis* sp3. D) *Pristimantis* sp4. E) *Pristimantis* sp5. F) *P. anolirex*. G) *Dendropsophus* sp. H) *C. altitudinalis*. I) *L. colombiensis*. J) *G. helenae*. K) *B. tamaense*.

Apéndice D. Artículos aceptados por *Herpetology notes*

1 **Another case of Inter-Species Amplexus: *Rhinella horribilis* (Wiegmann, 1833) and**
2 *Lithobates palmipes* (Spix, 1824) in NE Colombia
3
4 Laura J. Ortiz^{1*}, Giovany Diaz^{2,4}, Dario Arrieta-Garcia³, Aldemar A. Acevedo^{5,4*}

Herpetology Notes, Volume 17: XXX–XXX (published online on XX Xxx 2024)

Advertisement and aggressive calls of *Lithodytes lineatus* (Schneider, 1799) with records from two new localities in Norte de Santander, Colombia

Dario Arrieta-García^{1,4*}, Giovany Diaz^{2,5}, Laura J. Ortiz³, and Aldemar A. Acevedo^{5,6}

Apéndice E. Artículo sometido a *Bioacoustics journal*

Acoustic Ecology of Anuran Communities Across Andean Biomes: Unveiling the Soundscape of Northeastern Colombia

Darío Arrieta-García^{a,d}, Giovany Díaz^{b,e}, Laura J. Ortiz^c, Aldemar A. Acevedo^{e,f,*}

^a*Departamento de Biología, Universidad de Córdoba, 230002, Montería, Córdoba, Colombia;* ^b*Departamento de Biología, Universidad de Pamplona, 760042, Pamplona, Norte de Santander, Colombia;* ^c*Escuela de Biología, Universidad Industrial de Santander, 680002, Bucaramanga Santander, Colombia;* ^d*Grupo de Investigación Biodiversidad, Universidad de Córdoba, Montería, Córdoba, Colombia;* ^e*Grupo de Investigación en Ecología y Biogeografía, Universidad de Pamplona, Norte de Santander, Colombia;* ^f*Laboratorio de Genética y Evolución, Universidad de Chile, 8320000, Santiago, Chile*

*Corresponding author. E-mail address: bioaldemar@gmail.com

Vocalization acts as a primary communication mechanism in anurans, enabling the transmission of information between individuals in a community, facilitating mutual recognition, territorial dispute resolution, mate selection, and prevention of hybridization. The interaction between habitat characteristics and species composition plays a significant role in shaping the acoustic structure of anuran communities. This study aims to characterize the advertisement calls of anuran species distributed in the Pamplonita River Basin, northeastern Colombia, and to examine how competition and habitat features affect their acoustic structure. It is proposed that environmental selection pressures, as outlined by the Acoustic Adaptation Hypothesis (AAH), and acoustic competition, as described by the Acoustic Niche Hypothesis (ANH), both influence the acoustic structure of communities. Descriptive and multivariate statistical analyses were employed to characterize the calls of species from five representative Andean biome localities, evaluating both hypotheses. A total of 23 species, representing 6 families and 13 genera, were recorded and described, including three candidate species and first-time descriptions for five species. The analyses revealed a clear separation among species based on their call characteristics, supporting the ANH. Furthermore, species' vocalizations varied according to the specific environmental conditions of each habitat, lending support to the AAH.

Keywords: Andean; call; characteristics; acoustic; adaptation; niche