

DIVERSIDAD DE HERPETOFAUNA EN UN GRADIENTE ALTITUDINAL EN EL ECOSISTEMA  
DE MONTAÑA TROPICAL ANDINA DEL SUROCCIDENTE DEL VOLCAN GALERAS EN EL  
DEPARTAMENTO DE NARIÑO

NATALY MARCELA PORTILLO BENAVIDES

UNIVERSIDAD DE NARIÑO  
FACULTAD DE CIENCIAS EXACTAS Y NATURALES  
PROGRAMA DE BIOLOGIA  
SAN JUAN DE PASTO

2014

DIVERSIDAD DE HERPETOFAUNA EN UN GRADIENTE ALTITUDINAL EN EL ECOSISTEMA  
DE MONTAÑA TROPICAL ANDINA DEL SUROCCIDENTE DEL VOLCAN GALERAS EN EL  
DEPARTAMENTO DE NARIÑO

NATALY MARCELA PORTILLO BENAVIDES

Trabajo de grado presentado como requisito parcial para optar el título de Bióloga

DIRECTOR

Cd. D. BELISARIO CEPEDA-Q

Máster en Ciencias Biológicas

UNIVERSIDAD DE NARIÑO

FACULTAD DE CIENCIAS EXACTAS Y NATURALES

PROGRAMA DE BIOLOGIA

SAN JUAN DE PASTO

2014

“Las ideas y conclusiones aportadas en el trabajo de grado, son responsabilidad exclusiva del autor”.

Artículo 1º del Acuerdo N° 32 de Octubre 11 de 1966, emanado por el Honorable Consejo Directivo de la Universidad de Nariño.

Nota de Aceptación

---

---

---

---

---

Belisario Cepeda Q.

Director

---

Dora Nancy Padilla

Jurado

---

Jhon Jairo Calderón

Jurado

San Juan de Pasto, Febrero 2014

## AGRADECIMIENTOS

Primero agradezco a Dios por permitirme culminar esta etapa de mi vida, por darme la salud y una familia que me apoyo en todo momento.

A mis padres Sebastián y Margarita, por el inmenso apoyo que me brindaron, por soportar mis cambios de ánimo repentinos.

A mi hermano Juan, por sus constantes consejos y toda la sabiduría que compartió conmigo día tras día. A mi pequeña hermana Mónica por ser mi gran compañera y amiga incondicional, que siempre estuvo a mi lado muy interesada en aprender sobre los anfibios y reptiles.

A mis tíos y tías, Liguia, Teresa, Blanca, Aníbal, Eduardo, porque siempre estuvieron pendientes de los avances que iba realizando y no dudaron en brindarme su ayuda en el momento que necesitaba.

A mis primos y primas que cada momento me dieron ánimo y apoyo para finalizar esta meta. En especial a Adriana porque siempre estuvo con sus palabras motivadoras apoyándome, a Diego y José, que estuvieron dispuestos a acompañarme a varios sitios posibles para los muestreos.

A mi Asesor Belisario Cepeda, por sus grandes consejos y comentarios en todo este tiempo que duró la investigación.

A mis Jurados Dora Nancy Padilla y Jhon Jairo Calderón, por sus comentarios y observaciones en el documento, los cuales fueron de gran ayuda para llegar hasta aquí.

A mis compañeros Edna, Christian, Maira, Paola, Diana y Eliana por su gran apoyo en el desarrollo del proyecto, por sus buenos deseos.

Al Dr. Jhon Lynch (Universidad Nacional de Bogotá), cDr. Belisario Cepeda (Universidad de Nariño-Universidad Nacional de Bogotá) y Dr. Wilmar Bolívar (Universidad del Valle), por colaborarme con las identificaciones de varios ejemplares de anfibios y reptiles.

A la Dr. Christy McCain, por su asesoría para correr los datos para el modelo nulo de dominio medio.

A todas las personas de las veredas en Yacuanquer y Consacá que me abrieron las puertas de sus hogares y me colaboraron para realizar los muestreos en sus reservas y predios, como Manuel Recalde, Luis Popayán, Luis Mora, Jesús Ponce, Flor Alba, Darwin, Yuly.

A la Vicerrectoría de Investigaciones (VIPRI) de la Universidad de Nariño por la financiación de mi trabajo de grado y al grupo de investigación Biología de Páramos y Ecosistemas Andinos por su apoyo en este estudio.

En general, a todos los que estuvieron pendientes del desarrollo de esta investigación y que día a día estuvieron ahí para brindarme su incondicional apoyo.

## TABLA DE CONTENIDO

	Pág.
Lista de Tablas .....	viii
Lista de Figuras .....	ix
Lista de Anexos .....	x
GLOSARIO .....	1
RESUMEN.....	2
ABSTRACT .....	3
INTRODUCCIÓN.....	4
1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	6
2. HIPÓTESIS.....	7
3. JUSTIFICACIÓN .....	8
4. OBJETIVOS.....	9
5. MARCO TEÓRICO.....	10
5.1 ANTECEDENTES .....	10
5.2 FUNDAMENTOS TEÓRICOS.....	12
5.2.1 Patrones de Distribución Altitudinal .....	12
5.2.2 Diversidad de Anfibios en Colombia .....	13
5.2.3 Diversidad de Reptiles en Colombia.....	13
5.2.4 Herpetofauna en el Gradiente Altitudinal (Bosque Andino-Bosque Altoandino) .....	14
5.2.4.1 Bosque Andino.....	14
5.2.4.2 Bosque Altoandino .....	14
6. METODOLOGÍA .....	15
6.1 ÁREA DE ESTUDIO .....	15
6.2 MUESTREO Y REGISTRO DE DATOS.....	19
6.3 ANÁLISIS DE DATOS.....	20
7. RESULTADOS.....	23
7.1 COMPOSICIÓN Y ABUNDANCIA DE ANFIBIOS Y REPTILES EN EL FLANCO SUROCCIDENTAL DEL VOLCÁN GALERAS .....	23
7.2 RIQUEZA LOCAL O DIVERSIDAD ALFA .....	27

7.3 DIVERSIDAD BETA.....	28
7.4 ANÁLISIS DE CORRELACIÓN DE SPEARMAN .....	30
7.5 MODELO NULO DE DOMINIO MEDIO .....	31
7.6 RANGOS DE DISTRIBUCIÓN ALTITUDINAL DE ANFIBIOS Y REPTILES DEL FLANCO SUROCCIDENTAL DE VOLCÁN GALERAS .....	33
8. DISCUSIÓN.....	36
8.1 RIQUEZA Y ABUNDANCIA DE ANFIBIOS Y REPTILES EN EL FLANCO SUROCCIDENTAL DEL VOLCÁN GALERAS .....	36
8.2 DIVERSIDADES ALFA Y BETA.....	37
8.3 EFECTO DE DOMINIO MEDIO .....	40
8.4 FACTORES BIOTICOS Y ABIOTICOS.....	41
8.4.1 Factores relacionados con la diversidad de anuros .....	42
8.4.2 Factores relacionados con la diversidad de reptiles.....	44
CONCLUSIONES.....	47
RECOMENDACIONES.....	48
BIBLIOGRAFÍA .....	49

## LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Datos geográficos y variables ambientales de los sitios de estudio.....	16
Tabla 2. Composición y Abundancia de Anfibios y Reptiles en el gradiente altitudinal del Volcán Galeras.....	25
Tabla 3. Porcentajes de completitud de Anuros y Reptiles por búsqueda libre y cuadrantes con los estimadores no paramétricos Chao2, Jack1 y Jack2.....	27
Tabla 4. Índice de Margalef y verdadera diversidad alfa (basados en Shannon y Simpson) de la herpetofauna en las siete zonas muestreadas.....	28
Tabla 5. Valores de similitud de Jaccard, riqueza y número de especies compartidas en cada zona altitudinal.....	28
Tabla 6. Valores de similitud de Sorenson cuantitativo y número total de individuos en cada zona altitudinal.....	29
Tabla 7. Valores de complementariedad para las zonas altitudinales .....	29
Tabla 8. Valores obtenidos con la prueba de Kruskal-Wallis.....	32

## LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Zonas de estudio en el Flanco Suroccidental del Volcán Galeras, Departamento de Nariño.....	15
Figura 2. Zonas de estudio ubicadas en el municipio de Consacá. A-B: Zona I, C-D: Zona II, E-F: Zona III y G-H: Zona V.....	17-18
Figura 3. Zonas de estudio ubicadas en el municipio de Yacuanquer. A-B: Zona IV, C-D: Zona VI y E-F: Zona VII.....	18-19
Figura 4. Porcentajes de las familias de anfibios y reptiles presentes en el estudio.....	23
Figura 5. Composición y Abundancia de anfibios y reptiles en el flanco suroccidental del Volcán Galeras.....	24
Figura 6. Variación de la riqueza y abundancia de anfibios y reptiles en cada zona altitudinal del flanco suroccidental del Volcán Galeras.....	26
Figura 7. Curva de acumulación de especies de anuros y reptiles por búsqueda libre y cuadrantes a lo largo de todo el gradiente altitudinal.....	27
Figura 8. Análisis de correlación para las variables Altura, Temperatura y Humedad relativa vs Riqueza y Abundancia de especies de anuros.....	30
Figura 9. Análisis de correlación para las variables Altura, Temperatura y Humedad relativa vs Riqueza y Abundancia de especies de reptiles.....	31
Figura 10. Curva de riqueza de especies de anfibios anuros (A) y reptiles (B) en el suroccidente del Volcán Galeras (línea negra con círculos) y curvas de predicción con 95% generado por el modelo nulo de dominio medio (McCain, 2004).....	32
Figura 11. Perfil de rangos de distribución de las especies de anfibios y reptiles en el gradiente altitudinal del flanco suroccidental del Volcán Galeras.....	33
Figura 12. Distribución de <i>Dipsas peruana</i> Boettger, 1898.....	35
Figura 13. Temperatura y Humedad Relativa de las siete zonas altitudinales del flanco suroccidental del Volcán Galeras.....	42

## LISTA DE ANEXOS

	Pág.
Anexo A. Especies de Anuros y Reptiles identificados en el estudio.....	58
Anexo B. Datos de abundancia de la herpetofauna por cuadrante y por día de muestreo en cada zona altitudinal.....	66
Anexo C. Número de individuos y número de especies (en paréntesis) observadas por búsqueda libre, cuadrantes y el total de número de especies observadas (ambos métodos) en las siete zonas del gradiente altitudinal.....	67

## GLOSARIO

**DIVERSIDAD BETA:** medida de la diferencia en la composición de especies entre dos o más ensamblajes locales o regionales, donde se captura un aspecto fundamental del patrón espacial de la diversidad y su estudio es primordial para entender los patrones geográficos de la riqueza de especies; por ello, para un nivel de riqueza de especies regional dado, conforme se incrementa la diversidad beta, las localidades individuales diferirán más marcadamente una de otra y representarán una menor proporción de las especies que habitan en la región (Koleff, 2005).

**FACTORES ABIÓTICOS:** variables ambientales que explicarían en gran proporción las variaciones en la riqueza de especies a lo largo de gradientes altitudinales (Fu *et al.* 2007), como el caso de gradientes altitudinales en los Andes que está asociado al tipo de suelo, balance hidrológico, humedad, presión parcial de O<sub>2</sub> y CO<sub>2</sub>, intensidad de radiación y temperatura (Navas, 2003).

**NÚMERO EQUIVALENTE:** el número equivalente o efectivo de un índice de diversidad es el número de elementos igualmente probables necesarios para producir el valor dado del índice de diversidad, es la verdadera diversidad y viene determinado en orden q: riqueza de especies es un índice de diversidad en orden 0, entropía de Shannon es un índice de diversidad de orden 1 y todas las medidas de Simpson son índices de diversidad de orden 2 (Jost, 2007).

**SIMULACIÓN DE MONTECARLO:** es una técnica que permite resolver problemas matemáticos mediante la simulación de variables aleatorias. Simula curvas de riqueza de especies basadas en el tamaño de rango empírico (empirical range size) o rango de puntos medios (range midpoints) dentro de un dominio acotado basado en modelos analítico-estocásticos propuestos por Colwell & Hurt 1994 y Colwell & Lees 2000 (McCain, 2004; Naniwadekar & Vasudevan, 2007).

**MODELO NULO DE DOMINIO MEDIO:** describe modelos geométricos que resultan de la aleatorización del tamaño de rangos y colocaciones entre los puntos finales de dos límites fijos (base y cumbre de la montaña) que son compartidos por todas las especies del análisis (McCain, 2004). Los tamaños del rango alto e intermedio cruzan invariablemente el punto medio resultando en un pico de riqueza de especies en alturas medias (Colwell & Lees, 2000).

## RESUMEN

En el presente estudio evalué la diversidad de anfibios y reptiles a lo largo de un gradiente altitudinal (1800-3300m), en el sector de Yacuanquer y Consacá en el departamento de Nariño. Determiné la riqueza, composición y abundancia de especies a través de la diversidad alfa y beta en las zonas de estudio. Comparé la riqueza específica con el índice de Margalef, los números efectivos de especies basado en la entropía de Shannon y Simpson; para la diversidad beta, determiné los índices de Jaccard, Sorenson cuantitativo y la Complementariedad; también realicé un análisis de correlación de Spearman para la riqueza y abundancia de especies de anuros y reptiles con altura, temperatura y humedad relativa. Por último, las predicciones del modelo nulo generado por la simulación de Montecarlo fue realizado. Un total de 162 individuos en 15 especies (diez anuros y cinco reptiles) fueron registrados durante el estudio. A pesar de la baja diversidad en el gradiente altitudinal, la zona que presentó mayor diversidad de herpetofauna fue a 2800m. Hubo una mayor diversidad beta basado en la complementariedad entre las zonas de 2050m y 3300m. El análisis de correlación de Spearman no mostró relación entre las variables riqueza y abundancia con la altitud, temperatura y humedad relativa para los anuros, sin embargo, para reptiles hubo una fuerte relación entre humedad relativa y la riqueza de especies. La especie más abundante y encontrada en todo el gradiente altitudinal fue *Pristimantis unistrigatus*. Los anfibios y reptiles no siguieron el modelo nulo del efecto de dominio medio, aunque podría ser una disminución monótona para los reptiles.

Palabras clave: anuros, reptiles, gradiente altitudinal, diversidad alfa, diversidad beta, rango altitudinal, temperatura.

## ABSTRACT

The present study evaluated the diversity of amphibians and reptiles along the elevational gradient (1800-3300m) in the sector of Yacuanquer and Consacá in the department of Nariño. I determined the richness, composition and abundance of species through the alpha and beta diversities in the study zones. The specific richness was compared with the Margalef index, the effective numbers of species based on the Shannon and Simpson entropy; for the beta diversity, I determined the Jaccard, quantitative Sorenson indexes and the Complementarity; also performed a Spearman correlation analysis for the richness and abundance of species of frogs and reptiles with elevation, temperature and relative humidity. Finally, null model predictions generated by a Monte Carlo simulation was performed. A total of 162 individuals in 15 species (ten anurans and five reptiles) were registered during the study. In spite of the low diversity in the elevation gradient, the zone that presented bigger herpetofauna diversity went at 2050m. There was a bigger beta diversity based on the complementarity among the zones of 2050m and 3300m. The Spearman correlation analysis showed no relationship between richness and abundance variables with elevation, temperature and relative humidity for anurans, however, to reptiles was a strong relationship between relative humidity and species richness. The most abundant species and it found along all elevational gradient was *Pristimantis unistrigatus*. The amphibians and reptiles did not follow null model of mid-domain effect, although it could be a monotonic decline for reptiles.

Key words: anurans, reptiles, elevational gradient, alpha diversity, beta diversity, elevation range, temperature.

## INTRODUCCIÓN

La riqueza y abundancia de las especies cambia a lo largo de un gradiente altitudinal debido a la variación de las características físicas como temperatura, precipitación, presión atmosférica y otros factores asociados con la altitud (Flores-Saldaña, 2008; Cortez-Fernández, 2006). La diversidad de muchos grupos de vertebrados varía con la altitud presentando una disminución en alturas mayores (Hofer *et al.* 1999; Cortez-Fernández, 2006; Fu *et al.* 2007; Flores-Saldaña, 2008), patrón que también puede estar influenciado por la región biogeográfica, el grupo taxonómico, cadena trófica, productividad, estabilidad o por el tiempo de formación del ecosistema (Cortez-Fernández, 2006).

La riqueza de especies disminuye a lo largo de un gradiente altitudinal, a medida que las condiciones climáticas se tornan extremas, particularmente la temperatura, que afecta considerablemente a los anfibios y reptiles (Chettri *et al.* 2009; Suárez & Ramírez, 2004). Este cambio en la riqueza se puede presentar de manera uniforme o con un pico máximo a alturas intermedias-dominio medio (Suárez & Ramírez, 2004), dependiendo de la fisiología termal del organismo estudiado (Navas, 2003), además los modelos de riqueza de especies a lo largo de gradientes altitudinales varían considerablemente en diferentes partes del mundo (Naniwadekar & Vasudevan, 2007), ya sea por factores climáticos, biológicos, geográficos o históricos (Brown, 2001; Lomolino, 2001). En estudios realizados en China e India se han reportado la máxima riqueza de reptiles entre los 1000-1500m en gradientes de 300-4800m y por encima de los 2000m disminuye (Fu *et al.* 2007; Chettri *et al.* 2009). Para los anfibios, se ha reportado en los andes centrales de Colombia una riqueza máxima a 2032m en un gradiente de 1000-3700m (Cadavid *et al.* 2005), mientras en el Ecuador se registró entre 2500-2800m en un gradiente de 1800-3600m (Ramírez *et al.* 2009). Esta diferencia en la riqueza de especies de anfibios y reptiles en un gradiente altitudinal podría ser explicado por las altas demandas de energía y temperatura que requieren los reptiles en altitudes extremas, lo cual estaría muy relacionado con factores ecofisiológicos y evolutivos (Navas, 2003).

Aunque se han propuesto varios modelos para explicar el patrón de distribución altitudinal de la riqueza de especies, Colwell *et al.* (2005) propone el efecto de dominio medio para explicar la distribución de las especies como resultado del incremento del solapamiento del rango de las especies hacia el centro del dominio altitudinal, debido a las limitaciones espaciales en elevaciones bajas y altas (Colwell & Lees, 2000). Sin embargo, este modelo se debe considerar en conjunto con otros factores para ser una razón exclusiva que indique el patrón de distribución altitudinal de especies (Colwell *et al.* 2004). Varios estudios que evaluaron el patrón de distribución altitudinal de los reptiles en gradientes entre 300 y 4800m se encontró un mayor número de especies entre 1000-1500m con una disminución progresiva a alturas mayores,

estos resultados no se ajustaron al modelo de dominio medio (Fu *et al.* 2007; Chettri *et al.* 2009). Para el caso de los anfibios Naniwadekar & Vasudevan (2007) evaluaron la variación de riqueza de anuros en un gradiente de 40-1260m y encontraron un mayor número de especies a 1100m, sin embargo Fu *et al.* (2006) reporta en su estudio, que la fauna anura en un gradiente 400-5000m presentó un pico máximo medio entre 2400-2600m, el cual se ajusta al efecto de dominio medio.

De esta manera, el estudiar la fauna en gradientes altitudinales permitirá predecir cambios altitudinales en los factores abióticos sobre una sola montaña, así como también la variabilidad entre montañas húmedas y secas que ocurren en varios biomas (montaña tropical, templada y desértica), lo cual sería como un experimento natural invaluable para comprender la diversidad de hipótesis que surgen en la fauna acerca de su distribución y diversidad a lo largo de una montaña (McCain, 2007a). Asimismo, se puede conocer especies que se han adaptado a los ambientes extremos, especies propias del lugar o con algún grado de amenaza. Al lograr establecer el patrón de distribución altitudinal de las especies de anfibios y reptiles y explicar el modelo que mejor se ajusta, puede ser de gran utilidad para la priorización de áreas de conservación a nivel del gradiente altitudinal.

Por ello, para comprender mejor estos aspectos, es necesaria una mayor investigación en el neotrópico, puesto que los estudios realizados acerca de patrones de variación de diversidad y procesos fundamentales que determinan un gradiente altitudinal son muy pocos (Rickart *et al.* 1991). Así, el Volcán Galeras en el Departamento de Nariño presenta un rango altitudinal que brinda una oportunidad muy valiosa para evaluar patrones de riqueza de especies de anfibios y reptiles con relación a un gradiente altitudinal (1800-3300m). Además, en la montaña tropical andina son pocos los estudios que considera la distribución altitudinal de las especies, y en particular en el Nudo de los Pastos no existen estudios de la herpetofauna relacionada con la altitud.

Con base en la hipótesis planteada que la mayor riqueza de especies de anfibios y reptiles se encuentra en la zona media del gradiente altitudinal (1800-3300m) en el Suroccidente del Volcán Galeras y realizando los muestreos que permitieron el registro de 15 especies, el patrón de distribución altitudinal de estas especies no se ajustaron al modelo nulo de dominio medio, sin embargo para reptiles es muy posible que se ajuste a una disminución monótona. Este resultado puede explicarse a causa de la época de muestreo, el grado de intervención de las zonas muestreadas, los tipos de microhábitats presentes, la escala del gradiente altitudinal entre otros factores históricos y evolutivos. Además hubo una fuerte correlación entre la humedad relativa con la riqueza y abundancia de reptiles, pero para anuros la correlación con las variables evaluadas fue muy débil.

## 1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El tema de la distribución de los organismos a lo largo de un gradiente altitudinal ha permanecido como uno de los tópicos Biogeográfico más interesantes (Flores-Saldaña, 2008; Cortez-Fernández, 2006), debido a que características físicas como temperatura, humedad relativa, precipitación, presión atmosférica, entre otras que están asociadas con la altitud, cambian drásticamente, lo cual afecta tanto a la diversidad como a la distribución de las especies. En este sentido, la diversidad de muchos grupos de vertebrados varía con la altitud y por eso su disminución en alturas mayores, se considera un patrón general (Cortez-Fernández, 2006; Flores-Saldaña, 2008; Hofer *et al.* 1999). No obstante, esta relación no es lineal, debido a que es posible encontrar zonas más diversas en altitudes mayores, es por eso, que estos patrones altitudinales no son completamente comprendidos, ya que al parecer varían con la región biogeográfica, grupo taxonómico, cadena trófica, productividad, estabilidad o por el tiempo de formación del ecosistema (Cortez-Fernández, 2006).

De esta manera, para entender mejor estos aspectos, es necesario una mayor investigación, puesto que los estudios realizados acerca de patrones de variación de diversidad y procesos fundamentales que determinan un gradiente altitudinal son muy pocos (Rickart *et al.* 1991). Según Martínez (1997) citado por Cortez-Fernández (2006), la disminución de la diversidad con la altitud o latitud es evidente, no importa cuál sea la razón de ello. Por esto, la riqueza de especies a lo largo de gradientes disminuye, ya que pasan de ambientes con moderadas condiciones climáticas y físicas hasta ambientes en condiciones extremas, en el cual el factor más importante es la temperatura, que afecta de una manera considerable a los anfibios y reptiles, más aun cuando habitan gradientes altitudinales de los Andes (Chettri *et al.* 2009; Suárez-Ramírez, 2004).

El rango altitudinal que presenta el Volcán Galeras proporciona una gran oportunidad para evaluar el patrón de la riqueza de especies de anfibios y reptiles con relación al gradiente altitudinal. En la montaña tropical andina son pocos los estudios que considera la distribución altitudinal de las especies, y en particular en el Nudo de los Pastos no existen estudios de la herpetofauna relacionada con la altitud. De esta manera, en este estudio se pretende evaluar un gradiente altitudinal desde 1800-3300m en el sector suroccidental del Volcán Galeras en el Departamento de Nariño.

Pregunta de investigación:

¿Cómo varía la riqueza y abundancia de especies de anfibios y reptiles en un gradiente altitudinal en el ecosistema de montaña tropical andina en el suroccidente del Volcán Galeras en el departamento de Nariño?

## 2. HIPÓTESIS

El patrón de distribución altitudinal de la riqueza de especies de herpetofauna en el ecosistema de montaña tropical andino en el suroccidente del Volcán Galeras se ajusta a la hipótesis de dominio medio, en la cual la riqueza es mayor en la zona altitudinal media.

El efecto de dominio medio permite hacer una aproximación de cómo se están distribuyendo las especies de anfibios y reptiles a lo largo de la montaña tropical andina en el suroccidente del Volcán Galeras, ya sea por el tipo de hábitat que presenta cada zona altitudinal o por factores climáticos, evolutivos e históricos; de hecho podría ser una consecuencia del aumento de solapamiento de rangos de especies hacia la zona media del gradiente altitudinal, debido a las limitaciones espaciales en elevaciones inferiores y superiores.

### 3. JUSTIFICACION

Los estudios de la fauna en gradientes altitudinales son de gran importancia porque han permitido predecir el efecto de los cambios altitudinales en los factores abióticos sobre una sola montaña, y también para comparar la variabilidad entre montañas húmedas y secas que ocurren en varios biomas (montaña tropical, templada y desértica); estas características permiten utilizar los gradientes altitudinales globalmente distribuidos como experimentos naturales para someter a prueba la diversidad de hipótesis que surgen en la fauna acerca de su distribución y diversidad a lo largo de una montaña (McCain, 2007a).

En este estudio se evalúa por primera vez la variación de riqueza y abundancia de especies de herpetofauna en el volcán Galeras, para aportar al conocimiento sobre la distribución y composición de anfibios y reptiles en un gradiente altitudinal de 1800 a 3300m en el flanco suroccidental del Volcán Galeras, desde el municipio de Yacuanquer hasta el municipio de Consacá; una región del suroccidente del país donde aun hay un gran vacío de información en estos grupos, no solo de la composición de especies sino de las adaptaciones morfológicas y fisiológicas que les permite sobrevivir en condiciones ambientales variables.

Con este estudio es posible registrar especies de anfibios y reptiles propias de una altura determinada y se podría conocer el estado de amenaza que presenta cada una de ellas, lo cual es un factor fundamental en la historia natural de las especies, además, las que se encuentren con algún grado de amenaza se podría aplicar posteriormente planes de manejo y conservación para aquellas áreas y especies.

Por otra parte, la tendencia que se presenta sobre la disminución de poblaciones o especies de anfibios y reptiles es muy preocupante, ya que están desapareciendo muchas especies a nivel mundial (Angulo *et al.* 2006), es así que este estudio brinda elementos base para posteriores estudios enfocados en monitoreo de especies, principalmente las que se encuentren con algún grado de amenaza.

## 4. OBJETIVOS

### OBJETIVO GENERAL

Evaluar la variación de la riqueza y la abundancia de anfibios y reptiles en un gradiente altitudinal en el Ecosistema de Montaña Tropical Andina en el Suroccidente del Volcán Galeras en el Departamento de Nariño.

### OBJETIVOS ESPECIFICOS

Determinar la composición y abundancia de especies de anfibios y reptiles en el gradiente altitudinal del flanco suroccidental del Volcán Galeras.

Establecer la relación entre variación altitudinal y riqueza y abundancia de especies de anfibios y reptiles en el flanco suroccidental del Volcán Galeras.

Determinar el recambio de especies de herpetofauna en las diferentes alturas.

## 5. MARCO TEORICO

### 5.1 ANTECEDENTES

A nivel mundial, los estudios sobre riqueza y abundancia de especies y su relación con la variación altitudinal han demostrado la existencia de varios modelos según el grupo taxonómico entre otros factores, es así que Fauth *et al.* (1989) en su investigación de modelos altitudinales de riqueza de especies de herpetofauna en Costa Rica, concluyeron que hubo una correlación positiva entre la riqueza y la abundancia, lo cual seguía el patrón general de que la abundancia de anfibios y reptiles tropicales incrementa cuando la altitud aumenta, mientras que la riqueza de especies y equitatividad disminuyen. Lomolino (2001) plantea que muchos componentes climáticos y de ambientes locales varían con la altitud, ocasionando una variación en la riqueza de especies. Sin embargo, la información acerca de la relación entre riqueza animal y variables climáticas en un gradiente altitudinal es muy limitada, por eso la riqueza de especies de herpetofauna en un gradiente altitudinal ha sido expuesto a diversas hipótesis, en las cuales intervienen varios factores, como son climáticos, biológicos, biogeográficos e históricos, pero también están relacionadas con el área altitudinal de las especies y factores similares como gradientes latitudinales (Fu *et al.* 2007).

Naniwadekar & Vasudevan (2007) estudiaron modelos de diversidad de anuros en un gradiente altitudinal 40-1260m en el sur de India, en el cual se basan en un modelo nulo de dominio medio, obteniendo que los modelos observados son diferentes significativamente a las predicciones del modelo nulo, sin embargo, Fu *et al.* (2006) encontraron que la fauna anura en un gradiente altitudinal 400-5000m en las montañas Hengduan, China, se ajustaron al modelo nulo de dominio medio. Chettri *et al.* (2009) estudiaron los modelos de distribución en reptiles en un gradiente altitudinal en el Himalaya desde 300m-4800m, basándose en un efecto de dominio medio, en el cual la mayoría de las especies se encontraron por debajo de los 1000m. Fu *et al.* (2007) estudiaron la distribución de los reptiles a lo largo de un gradiente altitudinal de 500-3500m encontrando una disminución monótona a partir de 1500m.

En Colombia, se han reportado varios estudios acerca de gradientes altitudinales con los distintos grupos de fauna, tales como Bejarano-Bonilla *et al.* (2007) plantearon un estudio de diversidad y distribución de la quiropterofauna en el sector de la vertiente oriental de la cordillera central del Tolima en un transecto altitudinal desde 350-4000m, en la cual la mayor diversidad se reportó en elevaciones intermedias. Camero & Calderón (2007) en su investigación acerca de la variación altitudinal de la composición, riqueza, diversidad y estructura de la comunidad de mariposas diurnas en un gradiente altitudinal en la cuenca del río Combeima desde 1800-3000m en tres periodos de muestreo, obtuvieron una marcada zonificación a 1900m, a partir de la cual fue decreciendo el número de especies exclusivas para cada estación de muestreo. Martínez *et al.* (2009) quienes describieron la estructura de la comunidad de escarabajos coprófagos en la cuenca media y baja del río Gaira, Sierra Nevada de Santa Marta desde 50-940msnm,

encontrando que la altura no afecta la estructura de la comunidad y que otras variables son las que influyen en la comunidad.

Por su parte, los estudios de anfibios y reptiles en un gradiente altitudinal son muy escasos, de los cuales una gran parte se han basado en determinar la composición de la anurofauna en distintos lugares, como el realizado por Suárez & Ramírez (2004), en el que determinan la presencia de anuros en un gradiente altitudinal de 2200-3200m, concluyendo que hay una disminución de riqueza de especies conforme la altura aumenta. Cadavid *et al.* (2005), evaluaron la composición de anuros en un transecto altitudinal en los andes centrales de Colombia, concluyendo que la mayor diversidad de anuros se encuentra en alturas intermedias (entre 600 y 2500m).

En la herpetofauna se considera una hipótesis muy importante, la cual plantea que a mayores altitudes la diversidad de reptiles es menor que la de anfibios, debido a sus altas demandas energéticas y termales, por eso, la herpetofauna colombiana que se encuentra en el sector de paramos son aproximadamente 1 familia del orden Caudata y cinco familias de anuros (Leptodactylidae, Bufonidae, Hylidae, Centrolenidae y Dendrobatidae) representadas por más de un género, incluyendo el género *Pristimantis*, el cual se encuentra en elevaciones más extremas (Navas, 2003; Castaño *et al.* 2000 citado por Mena-Vásquez, 2005) como el caso de *Pristimantis curtipes*, la cual habita en los pajonales y cerca de arroyos en altitudes superiores de 4000m (Mena-Vásquez, 2005); por el contrario, son pocas las especies de reptiles en los páramos, como el caso de los lagartos, que en esta zona están representados en dos familias: Iguanidae y Gymnophthalmidae (Navas, 2003), aunque según Castaño *et al.* (2000) citado por Mena-Vásquez (2005), son tres familias de lagartos que habitan en zonas paramunas; la especie más común es *Stenocercus guentheri*, la cual llega hasta los 4100m y son los únicos reptiles que soportan ese tipo de ambiente paramuno (Mena-Vásquez, 2005).

El departamento de Nariño cuenta con muy pocos estudios de fauna relacionado con gradientes altitudinales, uno de ellos es Palacios & Constantino (2006) quienes estudiaron la diversidad de mariposas diurnas en un gradiente altitudinal de 700-1500m, en la Reserva Natural El Pangan. No obstante, en el departamento se han desarrollado algunos estudios sobre anfibios, como es el caso de Narváez & Narváez (2002), en el cual evaluaron aspectos ecológicos de anuros en las Lagunas de Telpis y Mejía, Santuario de Flora y Fauna Galeras a una altura de 3600m, registrando seis especies de anuros, cinco de los cuales pertenecen al mismo género *Pristimantis*, antes *Eleutherodactylus* (*unistrigatus*, *repens*, *buckleyi*, *thymelensis*, *lymani*) y la especie *Osornophryne bufoniformes*. Benavides & Gómez (2005), en su estudio de ecología trófica de anuros en la Laguna Negra, Santuario de Flora y Fauna Galeras a 3400m, encontraron siete especies de *Eleutherodactylus* ó *Pristimantis* (*myersi*, *repens*, *buckleyi*, *thymelensis*, *sp1*, *sp2* y *sp3*) y dos especies de *Osornophryne* (*bufoniformis* y *talipes*). Por otra parte, estudios sobre reptiles en el departamento, se encuentran Chavesorbegozo-O& Daza-R (2005), en el cual evaluaron aspectos ecológicos de los hábitos alimenticios y usos de hábitat de *Proctoporus colombianus* (actualmente *Riama columbiana*) en la zona sur-oriental del Volcán Galeras y el trabajo de Mora-O, *et al.* (2010) en el que estudiaron la

variación poblacional de *Riama columbiana* en los corregimientos de Cabrera y Genoy de la ciudad de Pasto.

## 5.2 FUNDAMENTOS TEORICOS

### 5.2.1 Patrones de distribución altitudinal

Los patrones altitudinales de la riqueza de especies es limitado por varios factores, tales como la productividad (Mittelbach *et al.* 2001), la cual incrementa el recambio de especies (Chalcraft *et al.* 2004), filogenia y especiación (Patterson *et al.* 1996), un particular régimen climático, que puede traer como consecuencia ciertos modelos de riqueza (McCain, 2007a), al igual que los eventos históricos, por lo cual los modelos de riqueza solo se presentan para grupos taxonómicos particulares, lo que ocasiona limitaciones ecológicas (McCain, 2007a; Brown, 2001; Lomolino, 2001), efectos de relación de especies/áreas, en la cual en una montaña se esperaría una disminución de riqueza con el incremento de altitud (Sanders *et al.* 2003; McCain, 2007b), aislamiento, debido a que comunidades en altas elevaciones estarán más aisladas de otras comunidades y tendrán una declinación en la tasa de inmigración (Lomolino, 2001).

Es así que, la riqueza de especies responde a la variación altitudinal en una montaña de acuerdo a hipótesis planteadas por Rahbek (1997):

- *Modelo de producción primaria monótono*, en el que un cambio monótono en la riqueza de especies a lo largo de un gradiente altitudinal refleja las variables climáticas y resulta en una disminución de la productividad, disminuyendo desde el Ecuador y el nivel del mar, por lo cual una correlación positiva entre productividad y riqueza de especies tiene como base mecanismos por los cuales el aumento de disponibilidad de energía, resulta en la proliferación de las especies en lugar de un incremento de poblaciones existentes.
- *Regla de Rapoport*, esta regla plantea que el rango o amplitud media de las especies incrementa con la elevación, sugiriendo que los patrones de riqueza de especies a lo largo de gradientes latitudinales y altitudinales son causados por la variación en paralelo de las variables climáticas; estrecho de tolerancia del medio ambiente de las especies propias de tierras bajas.
- *Modelo de productividad es un modelo bache*, donde el incremento de la riqueza de especies con la productividad no es universal. En este modelo la productividad disminuye monótonamente con la altura.
- *Rangos geográficos delimitados al azar (dos límites)*, asociación entre el tamaño y la ubicación del rango altitudinal de las especies. Hay una disminución de la riqueza de especies en los puntos finales, el pico de mayor riqueza se encuentra en elevación media. Este modelo asume que el gradiente altitudinal está delimitado por dos límites, que fuera de estos rangos, las especies no se extienden, este modelo es como el modelo nulo más realista para los gradientes con límites.

Es así, que el efecto del dominio medio es de gran importancia, ya que explica la distribución de las especies (Colwell *et al.* 2005), además el efecto del dominio medio es

un resultado del incremento del solapamiento del rango de las especies hacia el centro del dominio altitud, debido a las limitaciones espaciales en elevaciones bajas y altas (Colwell & Lees, 2000). McCain (2004) reportó que el efecto de dominio medio es una consecuencia inevitable de rango limitado de tamaño variable.

### 5.2.2 Diversidad de Anfibios en Colombia

La diversidad de anfibios en Colombia también sigue el patrón general de acuerdo a la altitud o latitud, pero al analizar los grupos naturales es evidente que ningún clado está distribuido a lo largo de todo el gradiente altitudinal (Lynch & Suárez-Mayorga, 2002). Por otra parte, Narváez & Narváez (2002) afirman que los anfibios, especialmente los anuros, son considerados como indicadores ecológicos en ecosistemas conservados.

En Colombia, hasta el año 2006 se reportan 731 especies de anfibios (Acosta-Galvis *et al.* 2006), pero actualmente se registran 763 especies, ocupando el segundo lugar con mayor riqueza de especies, no obstante, solo 367 especies aproximadamente, son exclusivas de Colombia (Andrade, 2011; Frost, 2013; SIB, 2013); además se presentan 55 especies con algún grado de amenaza (Andrade, 2011; SIB, 2013). Los anfibios están representados en 13 familias de las cuales Bufonidae, Centrolenidae, Dendrobatidae, Hylidae, Leptodactylidae, Plethodontidae y Caeciliidae se encuentran por los Andes y todas, a excepción de Caeciliidae y Centrolenidae están representadas en la fauna del páramo. La distribución por familias en Colombia muestra que cinco de las 13 representan el 2% de la diversidad y entre las restantes, las más diversas son Leptodactylidae (35%) e Hylidae (22%); hay otras tres familias importantes (Bufonidae, Centrolenidae y Dendrobatidae) con cerca del 10% de las especies cada una (Lynch & Suárez-Mayorga, 2002).

### 5.2.3 Diversidad de Reptiles en Colombia

Colombia ocupa el tercer lugar en el mundo en cuanto a diversidad de reptiles (Chaves & Santamaría, 2006), ya que cuenta con más de 520 especies, especialmente del orden Squamata (lagartos y serpientes), sin embargo, el estado de conocimiento sobre cualquier aspecto de su biología, es posible que sea el más escaso en comparación con otros grupos de vertebrados terrestres colombianos (Páez *et al.* 2006). Según el SIB (2013), Colombia cuenta con 571 especies de reptiles, de los cuales solo 115 especies aproximadamente son exclusivas del país y 25 especies están con algún grado de amenaza, sin embargo Andrade (2011) menciona que hay 593 especies y Uetz & Hallerman (2013) muestran registradas 587 especies con distribución para Colombia.

Las regiones de Colombia presentan la siguiente diversidad de reptiles: El Caribe tiene 101 reptiles, La región Andina cuenta con 277 reptiles, La Orinoquia tiene 119 reptiles, El Pacífico 210 reptiles, y La Amazonía cuenta con 147 reptiles, según Chaves & Santamaría (2006), aunque el SIB (2013) reporta para la región Caribe 129 sp, región Andina 20 sp, Orinoquia 290 sp, El Pacífico 177 sp y la Amazonia con 195 especies de reptiles.

### 5.3 HERPETOFAUNA EN EL GRADIENTE ALTITUDINAL (BOSQUE ANDINO-BOSQUE ALTOANDINO)

#### 5.3.1 Bosque andino

El bosque andino comienza por encima del nivel de la selva húmeda tropical, más o menos entre los 1000 y 1200m hasta el límite con los páramos, 3500m (Tobón, 2009). A partir de los 1800 ó 2000m están frecuentemente cubiertos de neblina y se les suele llamar "bosques de niebla". En estos se encuentran principalmente bromelias y orquídeas; cada árbol es un jardín botánico con decenas de especies asociadas, todas dedicadas a la labor de cosechar las diminutas gotas de agua que forman la neblina; el bosque andino es el ecosistema más diezmado de Colombia, del cual tan sólo queda un 4%. Entre la biodiversidad de estos bosques se destacan ranas y aves, dos grupos en los cuales Colombia es el primero del mundo (Parques Nacionales Naturales de Colombia, 2011). En los Bosques Andinos predominan especies de ranas de los géneros *Pristimantis*, *Atelopus*, *Hyla* y *Colostethus*. También se encuentran salamandras del género *Bolitoglossa*. En cuanto a los reptiles son más bien escasos e incluyen algunas lagartijas de los géneros *Phenacosaurus*, *Anolis*, *Stenocercus* y serpientes no venenosas como *Atractus*, *Liophis* y *Chironius* (OpEPA, 2011).

#### 5.3.2 Bosque Altoandino

Hace parte del Bosque Andino, ubicado aproximadamente por encima de 2000m hasta 3500m (Tobón, 2009), se distingue por su amplia diversidad biológica. Árboles como el raque, encenillo, mortiño, canelo, romero, aliso y varios familiares del sietecueros como el angelito, son predominantes; presentan helechos desde las minúsculas gateaderas hasta el helecho palma, especie que supera los diez metros de altura, algunos de ellos se comportan como epífitos en el bosque alto andino. Los musgos y los líquenes al igual que las orquídeas son parte integral de estos ecosistemas, ellos aportan el color y las texturas propias del bosque nativo. Prospera entre 2.800 y 3.200m, límite que varía en cien o doscientos metros por las condiciones locales (vientos, asolación). Es un ambiente supremamente húmedo que se aprecia a la distancia como el característico manto de nubes que envuelve las cumbres de las montañas (Parques Nacionales Naturales de Colombia, 2011). Es así que la herpetofauna presente tendrá una gran variedad de microhábitats, además, es un refugio de muchas plantas y animales que en las tierras bajas han desaparecido o que tienen tal grado de adaptabilidad a la franja altitudinal de cumbre, que guardan un nivel muy alto de especificidad en las especies (endemismo), y cuya variabilidad biológica es claramente más alta a medida que se localiza sobre el eje ecuatorial. Los anfibios son comunes en los bosques más húmedos y cerca de las quebradas, pero los reptiles son más bien escasos e incluyen algunas lagartijas y serpientes no venenosas (OpEpa, 2011).

## 6. METODOLOGÍA

### 6.1 ÁREA DE ESTUDIO

El estudio se llevó a cabo en el flanco suroccidental del Volcán Galeras del complejo montañoso de los Andes, denominado Nudo de los Pastos en el departamento de Nariño, que incluyó las veredas El Tejar, Culantro, San Rafael y Churupamba en el municipio de Consacá y las veredas San Felipe, Chapacual y San José de Córdoba en el municipio de Yacuanquer (Figura 1), localizadas en un rango altitudinal desde los 1800 a 3300m entre 01°10'13.1"-01°09'39.8" latitud norte y 077°27'41.5"- 077°23'27.5" longitud oeste como se detalla en la Tabla 1.

Figura 1. Zonas de estudio en el Flanco Suroccidental del Volcán Galeras, Departamento de Nariño



Fuente: Google Earth y Cepeda, B. 2014.

Tabla 1. Datos geográficos y variables ambientales de los sitios de estudio

Localidad	Zona	Altura (m)	Latitud Norte	Longitud Oeste	T°C	HR %
Nariño, Municipio Consacá, Vereda San Rafael. Reserva Natural Villa del Carmén	Zona I	1800-1860m	1° 10' 13.1"	77° 27' 41.5"	18.0	88,8
Nariño, Municipio Consacá, Vereda El Tejar.	Zona II	1920-2050m	1° 13' 13.9"	77° 26' 55.2"	16.7	66.8
Nariño, Municipio Consacá, Vereda Culantro	Zona III	2237-2360m	1° 13' 30.5"	77° 26' 9.9"	15.1	68.2
Nariño, Municipio Yacuanquer, Vereda Chapacual.	Zona IV	2580-2650m	1° 9' 23.7"	77° 25' 21.2"	13.8	82.5
Nariño, Municipio Consacá, Vereda Churupamba.	Zona V	2840-2890m	1° 13' 18.4"	77° 24' 21.8"	11.3	90.8
Nariño, Municipio Yacuanquer, Vereda San Felipe. Reserva Privada.	Zona VI	3076-3120m	1° 9' 17.6"	77° 23' 53.4"	12.4	83.3
Nariño, Municipio Yacuanquer, Vereda San José de Córdoba. Reserva Privada.	Zona VII	3290-3310m	1° 9' 39.8"	77° 23' 27.5"	10.5	81.5

Fuente: Esta investigación.

En el municipio de Consacá se ubicaron los puntos altitudinales que corresponden a 1800m, 2050m, 2300m y 2800m (Figura 2), los cuales representan el orobioma medio (zona andina), y la vegetación que presentan es el cedro (*Cedrela montana*), nogal (*Juglans neotropica*), roble (*Quercus humboldtii*), las palmas pueden ser abundantes e incluso dominantes. Según el informe realizado por Sánchez-Arboleda (2009), la temperatura promedio en el municipio de Consacá oscila entre 21°C y 23°C, observándose las mayores temperaturas en los meses de Julio, Agosto y septiembre y las menores temperaturas se reportan en los meses de Enero, Febrero y noviembre. En cuanto a la distribución espacial, las temperaturas más bajas corresponden hacia la zona del volcán Galeras y ascienden a medida que se avanza hacia el cañón del río Guátara. Estas variaciones permiten definir los siguientes pisos térmicos para el municipio: Piso Medio (1200-1900m, 18-24°C), Piso Medio-Frío (1900-2600m, 12-18°C), Piso Frío (2600-3300m, 6-12°C) y Piso Muy Frío (3000-4000m, menor a 6°C).

En el municipio de Yacuanquer se ubicaron las estaciones de 2550m, 3050m y 3300m (Figura 3), ubicadas en el orobioma medio y alto. Por encima de los 2400m, se encuentran especies como mortiño (*Vaccinium meridionale*), Arrayán (*Myrcia popayanensis*), romero (*Diplostegium sp.*), encenillos (género *Weinmannia*) y canelo (*Drymis granadensis*). Las epífitas son abundantes, en especial, musgos, hepáticas, líquenes y helechos. A éstas se agregan orquídeas y quiches (géneros *Guzmania*, *Tillandsia* y *Vriesia*), algunas hemiparásitas (familia Loranthaceae), piperáceas y urticáceas. En los meses más fríos del año que son mayo y octubre, la temperatura

promedio está comprendida en 12°C y en los meses más calurosos que son junio y agosto, la temperatura llega hasta 18°C en clima frío y 23°C en clima medio (Alcaldía de Yacuanquer, 2012). Este municipio se encuentra entre 1400-4000m, determinando así cuatro pisos térmicos: Templado o medio (1000 a 2000m, 18.5°C), Frío (2000 a 3000m, 13°C), Páramo bajo (3000 a 3700m, 8°C) y Páramo alto (3700 a 4000m, 6°C); la topografía es irregular, donde prevalece en un 65% el relieve pendiente y el 35% restante son zonas onduladas y planas con un clima predominante frío, la precipitación anual es de 900mm (Guancha-A, 2008).

En el área de estudio que abarca los dos municipios existen diferentes hábitats y microhábitats que varían no solo por el efecto de la altura, sino por el grado de intervención humana que produce un paisaje fragmentado con pequeños parches de bosques secundarios y rastrojos en las orillas de quebradas, en medio de una matriz de cultivos y potreros. Considerando estas características se seleccionaron los sitios de muestreo en Consacá en alturas menores a 2900m y en Yacuanquer por encima de los 2900m, principalmente en ambientes con humedad y cobertura vegetal.

Figura 2. Zonas de estudio ubicadas en el municipio de Consacá. A-B: Zona I, C-D: Zona II, E-F: Zona III y G-H: Zona V.





Fuente: Esta investigación.

Figura 3. Zonas de estudio ubicadas en el municipio de Yacuanquer. A-B: Zona IV, C-D: Zona VI y E-F: Zona VII.





Fuente: Esta Investigación.

## 6.2 MUESTREO Y REGISTRO DE DATOS

Durante los meses de Agosto a Octubre de 2012 se realizaron varias salidas al sector suroccidental del Volcán Galeras, que corresponde a los municipios de Yacuanquer y Consacá, con el fin de establecer el transecto altitudinal y la ubicación de los sitios de muestreo. Una vez seleccionado el transecto se realizó el muestreo entre Noviembre de 2012 y Julio de 2013.

El transecto que abarco una amplitud altitudinal entre 1800 a 3300m fue dividido en siete estaciones con intervalos aproximadamente de 250m, considerando la alta sensibilidad de los anfibios y reptiles a los factores climáticos, y fueron denominadas de acuerdo a Hofer *et al.* 2000, Fu *et al.* 2007 y Chettri *et al.* 2009 en: zona I-1800m, zona II-2050m, zona III-2300m, zona IV-2550m, zona V-2800m, zona VI-3050m y zona VII-3300m.

En las estaciones altitudinales se utilizó la técnica de muestreo por cuadrantes y búsqueda libre (Aguirre-León 2011; Lieberman, 1986; Fauth *et al.*, 1989; Heinen 1992 y Siqueira *et al.* 2009), combinación de métodos que han sido probados para estimar varios atributos de las comunidades de anfibios y reptiles, como la abundancia, riqueza de especies, densidad y tamaño poblacional.

En cada estación altitudinal se trazaron ocho cuadrantes de 10 x 10m (100m<sup>2</sup>) equivalente a un total de 800m<sup>2</sup> por cada estación. Los cuadrantes fueron revisados durante cuatro días consecutivos por tres investigadores mediante búsqueda diurna y nocturna en distintos microhábitats como bajo rocas, árboles en pie o caídos y hojarasca. La búsqueda tanto de los anfibios y reptiles en los cuadrantes se realizó de 9:00-12:00 y 18:00-22:00 horas y la búsqueda libre para anuros fue de 12:00-13:00 y 22:00-23:00 horas y para reptiles de 12:00-13:00 y 17:00-18:00 horas, es decir dos horas diarias.

La colecta de los anuros, lagartos y serpientes se realizó de manera manual y no se requirió el uso de ganchos herpetológicos porque no se registraron serpientes venenosas. En cada zona altitudinal se registró el número total de individuos por especie observados dentro del área del cuadrante y por búsqueda libre y para evitar el recuento, los individuos de cada especie capturados en el cuadrante se mantuvieron en bolsas de tela húmeda y fueron liberados al final de los cuatro días.

Por otra parte, se registraron datos de Temperatura (°C) y Humedad Relativa (%) en cada zona altitudinal durante los cuatro días de trabajo efectivo mediante un Termohigrometro digital datalogger (registro datos) mini USB Cod/Ref. 202905/DT-171.

Para la determinación taxonómica de las especies se llevó a cabo un registro fotográfico de los diferentes ejemplares, se contó con la colaboración de Dr. Jhon D. Lynch (Universidad Nacional de Bogotá), cDr. Belisario Cepeda (Universidad de Nariño-Universidad Nacional de Bogotá) y Dr. Wilmar Bolivar (Universidad del Valle) para la identificación de algunos ejemplares, además se emplearon claves taxonómicas para cada grupo como Lynch & Duellman (1997), Lynch (1981), Torres-Carvajal (2007) y Peters & Donoso-Barros (1970); se colectaron varios ejemplares por especie en el caso de anfibios, debido a la gran variación en cuanto a coloración, además de su difícil identificación en campo, como es el caso del genero *Pristimantis*; se fijaron y se continuó el protocolo de preservación habitual, para su posterior determinación en el Museo de Historia Natural de la Universidad de Nariño (PSO-UDENAR).

### 6.3 ANÁLISIS DE DATOS

La riqueza y abundancia de anfibios y reptiles en todo el gradiente altitudinal y por zona altitudinal se analizó mediante la combinación de las dos técnicas de muestreo y por separado, ya que algunas especies fueron encontradas por medio de cuadrantes y otras por búsqueda libre, así que se unieron los datos de ambas técnicas, considerando que cada dato fue un individuo diferente y no una repetición del mismo.

El análisis de la representatividad del muestreo se realizó para anfibios y reptiles por separado y por las dos técnicas de muestreo (búsqueda libre y cuadrantes), mediante la elaboración de curvas de acumulación de especies para todo el gradiente, utilizando los estimadores no paramétricos Chao 2, Jackknife 1 y Jackknife 2, que estiman el número de especies esperadas en el programa EstimateS 8.0 (Chettri *et al.* 2009; Naniwadekar & Vasudevan, 2007). Además se calculó el porcentaje de completitud del muestreo respecto a cada estimador para todo el gradiente. Para determinar y comparar la diversidad alfa en cada estación altitudinal se utilizaron los datos de la herpetofauna (anfibios y reptiles en conjunto), mediante el cálculo del índice de riqueza específica (Margalef) y los números efectivos de especies de orden  $q$ , ya que la noción de la diversidad en ecología no corresponde al valor del índice de diversidad en sí, sino a su número equivalente, por ello fue necesario convertir los índices comunes en verdaderas diversidades y expresarlos en términos de índices de diversidad estándar, por ello después de obtener los valores de las entropías de Shannon y Simpson con el programa Past 2.17c se convirtieron aplicando la fórmula  $\text{Exp}(H')$  para  $q=1$  (Shannon) y  $1/(1-H')$  para  $q=2$  (Simpson) según Jost (2006) y Jost (2007).

Con los datos de riqueza de la herpetofauna de cada zona de muestreo se realizó un análisis de diversidad Beta, con el fin de determinar el recambio de especies a lo largo del gradiente, definido como el grado de disimilitud en la composición de especies de pares de biotas (Urbina-Cardona & Reynoso, 2005), para esto se evaluó el índice de Jaccard mediante el programa PAST versión 2.17c, que indica la similaridad entre dos sitios,

donde valores cercanos a cero muestran poca similaridad, pero valores cercanos a 1, quiere decir que son muy similares. El índice de Sorenson cuantitativo, en el cual valores cercanos a 1 indican alta similaridad y baja diversidad beta (Moreno, 2001), el cual viene dado por la fórmula:

$$I_{scuant} = \frac{2 pN}{aN + bN}$$

Donde:

aN = número total de individuos en el sitio A

bN = número total de individuos en el sitio B

pN = sumatoria de la abundancia más baja de cada una de las especies compartidas entre ambos sitios.

Por último, se analizó la complementariedad, la cual relaciona el número de especies de una estación altitudinal con otra y el número de especies en común entre los dos sitios (Moreno, 2001; Urbina-Cardona & Reynoso, 2005). Para esto, se tuvo en cuenta dos medidas:

- I. La riqueza total para ambos sitios combinados:  **$S_{AB} = a + b - c$**

Donde, a es el número de especies del sitio A, b es el número de especies del sitio B, y c es el número de especies en común entre los sitios A y B.

- II. El número de especies únicas a cualquiera de los dos sitios:  **$U_{AB} = a + b - 2c$**

A partir de estos valores se calculó la complementariedad con la fórmula:

$$C_{AB} = \frac{U_{AB}}{S_{AB}}$$

Así, la complementariedad varía desde cero, cuando ambos sitios son idénticos en composición de especies, hasta uno, cuando las especies de ambos sitios son completamente distintas (Moreno, 2001).

Posteriormente se analizó el grado de asociación entre la riqueza y abundancia de anfibios y reptiles con la Altitud, la Temperatura y Humedad Relativa mediante la correlación de Spearman, ya que los datos no fueron normales (Fernández & Díaz, 1997). Esta correlación se corrió en el programa Statistix versión 10.0, que proporciona los valores de R y el valor de significancia, además de las curvas de correlación para cada caso. Por otra parte, con los datos obtenidos dentro de cuadrantes se realizó una Anova de Kruskal-wallis para evaluar si hay diferencias significativas de la riqueza y abundancia de la herpetofauna en las diferentes alturas, esto con el fin de comprobarlo estadísticamente utilizando el programa Statistix 10.0.

Los datos de riqueza de especies se utilizaron para realizar las predicciones del modelo nulo generado por un proceso de simulación Monte Carlo (Mid-Domain Null Programme, McCain 2004), el cual genera un modelo nulo por aleatorización de rango entre dos límites (superior-inferior) basados en un modelo analítico estocástico (Colwell & Lees, 2000). Las curvas de predicción (95%) basadas en 50.000 simulaciones sin reemplazamiento del tamaño del rango empírico se usaron para evaluar el impacto de los límites geométricos en anfibios y reptiles por separado (McCain, 2004; Naniwadekar & Vasudevan, 2007; Chettri *et al.* 2009). Cuando las especies no presentan un límite superior y un inferior se debe aumentar por lo menos un metro al límite superior o disminuirle al inferior, para este caso se aumentó 1m al límite superior, aunque puede ser más (10m, 50m) según convenga, de lo contrario la simulación no podría llevarse a cabo (Com. pers online C. McCain). Para confirmar que tanto se ajustan los datos empíricos al modelo nulo, se realizó una regresión entre los valores empíricos y los simulados, los cuales están basados en el promedio de las 50.000 simulaciones, obteniendo un valor de  $r^2$  tanto para anuros como para reptiles (McCain, 2004).

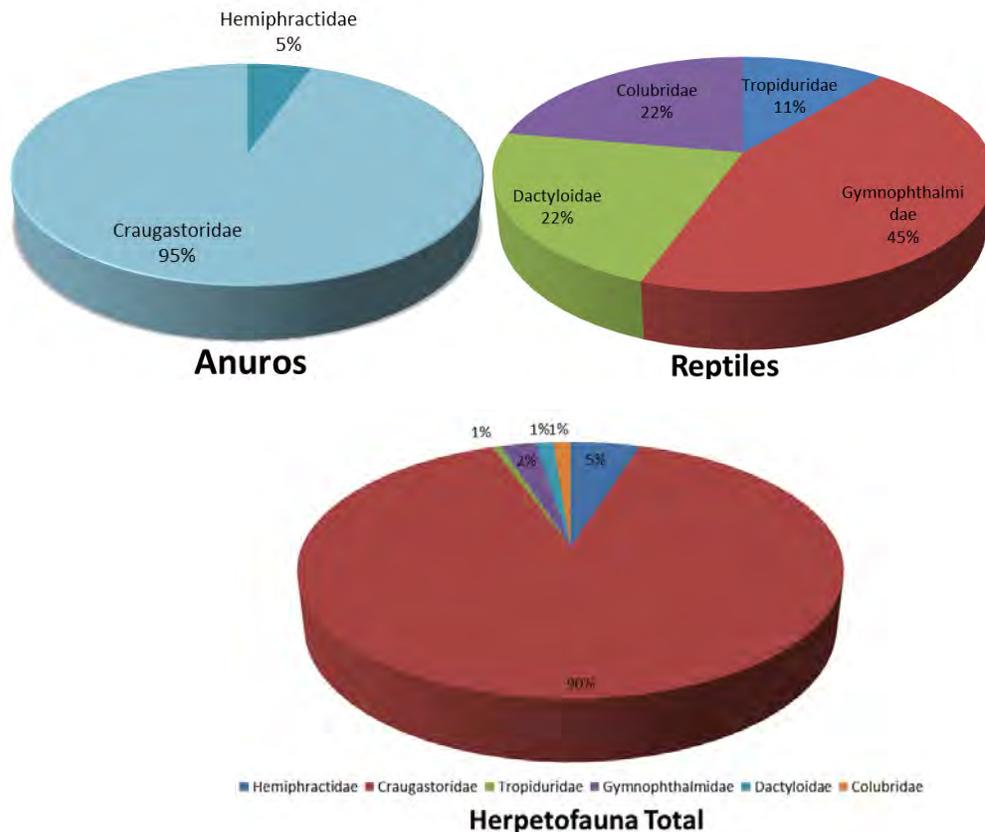
Con los datos de riqueza de las especies se elaboró una gráfica sobre el rango altitudinal para cada especie, estimado como la diferencia entre la altitud más baja y la más alta donde se encontraron las especies, suponiendo que se encuentran en las zonas intermedias entre esas alturas (Chettri *et al.* 2009).

## 7. RESULTADOS

### 7.1 Composición y Abundancia de Anfibios y Reptiles en el Flanco Suroccidental del Volcán Galeras

En este estudio se registraron 162 individuos de 15 especies entre anfibios y reptiles, de los cuales diez especies fueron anuros, tres saurios y dos serpientes. Los anuros estuvieron representados por 153 individuos en las familias Hemiphractidae y Craugastoridae, con los géneros *Gastrotheca* y *Pristimantis* respectivamente. En los reptiles se registraron nueve individuos, de los cuales siete fueron lagartos de las familias Tropiduridae, Gymnophthalmidae y Dactyloidae con los géneros *Stenocercus*, *Riama* y *Anolis*, respectivamente y dos individuos de serpientes pertenecieron a la familia Colubridae con los géneros *Dipsas* y *Liophis* (Figura 4). En los anfibios solo se registraron diez especies de anuros: la rana marsupial *Gastrotheca argenteovirens*, los cutínes *Pristimantis unistrigatus*, *P. w-nigrum*, *P. myersi*, *P. supernatis*, *P. buckleyi*, *P. thymelensis*, *Pristimantis sp1*, *Pristimantis sp2* y *Pristimantis sp3*. En los reptiles se registraron las especies de lagartos *Stenocercus angel*, *Riama sp* y *Anolis heterodermus*, y en las serpientes *Dipsas peruana* y *Liophis epinephelus* (Figura 5). Algunos datos de campo e información adicional de estas especies se encuentran en el anexo 1.

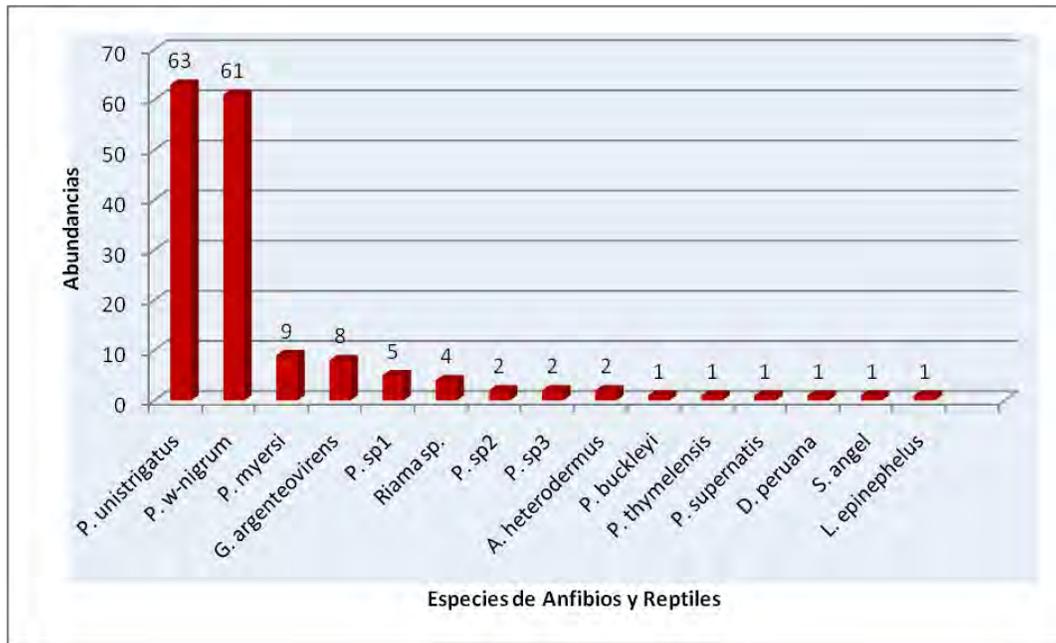
Figura 4. Porcentajes de las familias de anfibios y reptiles presentes en el estudio



Fuente: Esta Investigación.

En los anuros, la familia Craugastoridae fue la más diversa y con más del 90% de la abundancia comparada con una sola especie y el 5% de la abundancia de la familia Hemiphractidae. En los reptiles, la familia Gymnophthalmidae estuvo representada con el 45% de los individuos, seguido de las familias Dactyloidae y Colubridae con 22% y por ultimo Tropiduridae con el 11% de individuos.

Figura 5. Composición y Abundancia de anfibios y reptiles en el flanco suroccidental del Volcán Galeras



Fuente: Esta Investigación.

La especie de anuro más abundante fue *Pristimantis unistrigatus* representada por el 39% (63 individuos), que fue común en los cuadrantes más cercanos a zonas abiertas y en búsquedas libres por zonas cercanas a potreros; seguida de *Pristimantis w-nigrum* con el 38% (61 individuos), especie encontrada principalmente en los cuadrantes y búsquedas libres realizadas cerca a la vegetación riparia de las quebradas. *Pristimantis myersi* con 6% (nueve individuos) registrada únicamente en la hojarasca al interior de los cuadrantes y *Gastrotheca argenteovirens* que fue detectada en los cuadrantes y por búsqueda libre con un 5% (ocho individuos). Las demás especies fueron registradas con menos del 5% en especial *Pristimantis supernatis*, *Pristimantis buckleyi* y *Pristimantis thymelensis*.

En reptiles, *Riama sp* representada con un 3% (cuatro individuos) en base al total de individuos, fue encontrada en cuadrantes cercanos a zonas abiertas y por búsqueda libre, seguido de *Anolis heterodermus* con 1.5% (dos individuos) registrados en vegetación dentro de los cuadrantes y en búsqueda libre. Las tres especies restantes solo estuvieron representadas por un individuo y con menos del 1% respecto al total de individuos. Los datos de las abundancias de cada especie en las zonas altitudinales se presentan en la Tabla 2.

Tabla 2. Composición y Abundancia de Anfibios y Reptiles en el gradiente altitudinal del Volcán Galeras

Zonas altitudinales	Especies de Anfibios y Reptiles	Abundancias
Zona I: 1800-1860m	<i>Pristimantis unistrigatus</i> Günther, 1859	16
	<i>Pristimantis w-nigrum</i> Boettger, 1892	1
	<i>Gastrotheca argenteovirens</i> Boettger, 1892	4
Zona II: 1920-2050m	<i>Pristimantis w-nigrum</i> Boettger, 1892	54
	<i>Pristimantis unistrigatus</i> Günther, 1859	5
	<i>Gastrotheca argenteovirens</i> Boettger, 1892	4
	<i>Anolis heterodermus</i> Duméril, 1851	1
	<i>Dipsas peruana</i> Boettger, 1898	1
	<i>Liophis epinephelus</i> Cope, 1862	1
Zona III: 2237-2360m	<i>Pristimantis unistrigatus</i> Günther, 1859	4
	<i>Pristimantis w-nigrum</i> Boettger, 1892	6
	<i>Pristimantis supernatis</i> Lynch, 1979	1
	<i>Anolis heterodermus</i> Duméril, 1851	1
Zona IV: 2580- 2650m	<i>Pristimantis unistrigatus</i> Günther, 1859	11
	<i>Riama</i> sp.	1
Zona V: 2840- 2890m	<i>Pristimantis unistrigatus</i> Günther, 1859	5
	<i>Pristimantis</i> sp1	5
	<i>Pristimantis</i> sp2	2
	<i>Pristimantis</i> sp3	2
Zona VI: 3076-3120m	<i>Pristimantis unistrigatus</i> Günther, 1859	11
	<i>Riama</i> sp.	3
Zona VII: 3290-3310m	<i>Pristimantis myersi</i> Goin and Cochran, 1963	9
	<i>Pristimantis unistrigatus</i> Günther, 1859	11
	<i>Pristimantis buckleyi</i> Boulenger, 1882	1
	<i>Pristimantis thymelensis</i> Lynch, 1972	1
	<i>Stenocercus angel</i> Torres-Carvajal, 2000	1

Fuente: Esta Investigación.

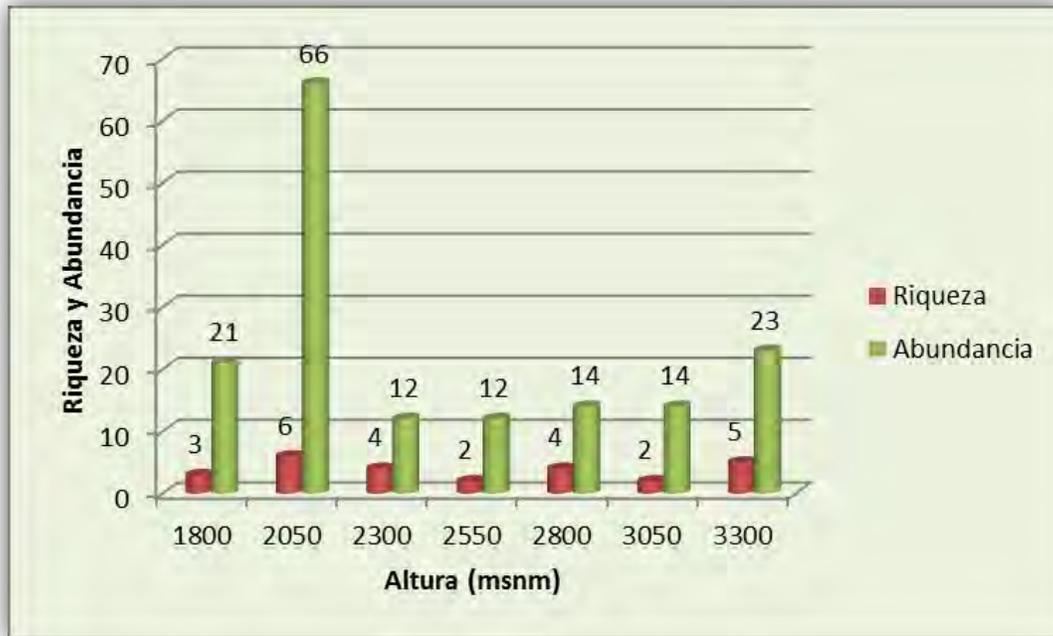
Las estaciones con mayor riqueza de anuros fueron la V y VII con cuatro especies (26.7%), seguido de las zonas I, II y III con tres especies (20%) y las zonas IV y VI con solo una especie (6.7%). En la zona II se encontró la abundancia más alta (38.9%), seguido por la zona VII con el 13.6% y la zona I con el 13%; las demás zonas tuvieron menos del 10% de individuos respecto al total.

La riqueza de los reptiles fue menor comparada con los anuros, y en la zona II se encontró el mayor número de especies (20%), en las demás zonas se registró menos del 10% ya que solo presentaron una especie y en las zonas I y V no se registraron reptiles. La abundancia fue mayor en las zonas II y VI, con un 2% del total de abundancia (tres individuos cada una), las demás zonas presentaron menos del 2%.

En la zona II se encontró el 40% de las especies entre anfibios y reptiles (seis especies) y el 40.7% (66 individuos) de la abundancia, seguido de la zona VII con el 33.3% (cinco especies) y 14.2% (23 individuos) en abundancia; las zonas III y V con el 26.7% (cuatro especies) y menos del 10% (< 15 individuos) de la abundancia total; la zonas IV y VI con el 13.3% (dos especies) y menos del 10% de la abundancia (<15

individuos), finalmente la zona I presentó tres especies con el 20% y un 13% de la abundancia (21 individuos) (Figura 6).

Figura 6. Variación de la riqueza y abundancia de anfibios y reptiles en cada zona altitudinal del flanco suroccidental del Volcán Galeras.



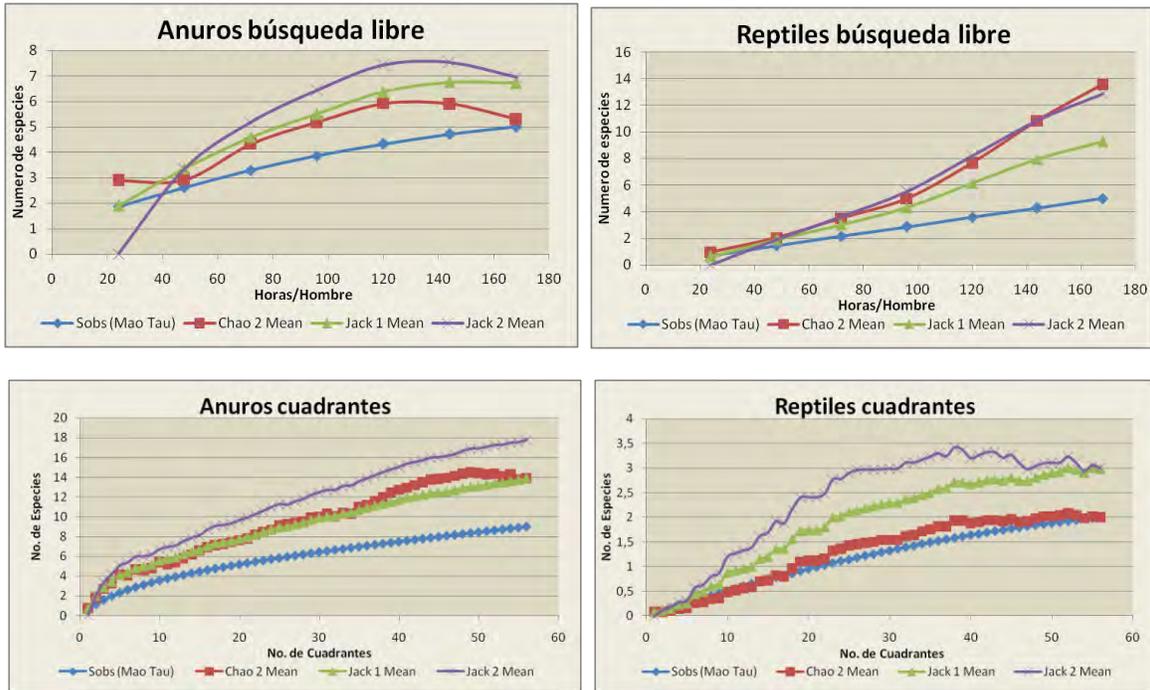
Fuente: Esta Investigación

Mediante la curva de acumulación de especies obtenida para todo el gradiente altitudinal, para anuros por búsqueda libre (especies observadas Sobs= 5 sp) se muestra una curva ascendente hasta el final del muestreo en las 168 horas/hombre (Figura 7), indicando que en el muestreo realizado no se logró encontrar todas las especies que estarían presentes a lo largo del gradiente, pero el número de especies obtenidas no estuvo lejos de los datos esperados (Chao2= 5.29, Jack1= 6.71 y Jack2= 6.95 especies); aunque con la técnica de muestreo s por cuadrantes se registraron más especies de anuros, el valor observado (Sobs= 9 sp), está más alejado del esperado en la curva de acumulación respecto a los estimadores (Chao2= 13.91, Jack1= 13.91 y Jack2= 17.54 especies).

Para el caso de reptiles por búsqueda libre (Sobs= 5 sp), la curva de acumulación de especies es ascendente hasta el final (figura 7), el valor esperado según los estimadores indica que faltaría en promedio seis especies (Chao2= 13.57, Jack1= 9.29 y Jack2= 12.86 especies), mientras que el número de especies de reptiles observadas dentro de los cuadrantes (Sobs= 2 sp) indican que la curva de acumulación alcanza la asíntota al final del muestreo (aproximadamente en el cuadrante 50) y el valor esperado por los estimadores están muy cercanos al observado (Chao2= 2, Jack 1 y 2= 3 especies).

Los porcentajes de completitud con cada estimador y para cada caso se muestran en la Tabla 3, pero en general se presentaron los siguientes rangos de completitud: Anuros por búsqueda libre 72-94%, Anuros por cuadrantes 51-65%, Reptiles por búsqueda libre 37-54% y Reptiles por cuadrantes 67-100%.

Figura 7. Curva de acumulación de especies de anuros y reptiles por búsqueda libre y cuadrantes a lo largo de todo el gradiente altitudinal.



Fuente: Esta Investigación

Tabla 3. Porcentajes de completitud de Anuros y Reptiles por búsqueda libre y cuadrantes con los estimadores no paramétricos Chao2, Jack1 y Jack2.

Estimadores no paramétricos	Búsqueda libre		Cuadrantes	
	Anuros	Reptiles	Anuros	Reptiles
<b>Chao 2</b>	94.52%	36.85%	64.70%	100%
<b>Jackknife 1</b>	74.52%	53.82%	64.70%	66.67%
<b>Jackknife 2</b>	71.94%	38.88%	50.59%	66.67%

Fuente: Esta Investigación

## 7.2 Riqueza Local o Diversidad Alfa

A partir de los datos de riqueza y abundancia de las especies de anfibios y reptiles, se determinó el índice de riqueza específica de Margalef y la diversidad alfa que se muestran en la Tabla 4. El valor más alto del índice de riqueza de Margalef (1.276) se encontró en la zona VII, seguido de la zona III (1.207) y la zona II (1.193) y finalmente la

zona VI con 0.3789. Por otro lado, cuando se calculo el índice de diversidad en base a Shannon que considera la equidad, la zona V presentó el valor más alto (3.6 especies) indicando mayor diversidad con relación a las zonas III y VII (3.1 especies cada una); la zona menos diversa fue la IV con 1.3 especies. Por último, los valores del índice de dominancia en base a Simpson fueron muy similares a los obtenidos con Shannon, la zona V con 3.4 especies, seguido de la zona III con 2.7 especies y la zona VII con 2.6 especies, y la zona IV con 1.2 especies presentó la menor diversidad.

Tabla 4. Índice de Margalef y verdadera diversidad alfa (basados en Shannon y Simpson) de la herpetofauna en las siete zonas muestreadas

	Zonas altitudinales (msnm)						
	Zona I (1800)	Zona II (2050)	Zona III (2300)	Zona IV (2550)	Zona V (2800)	Zona VI (3050)	Zona VII (3300)
<b>Margalef</b>	0,6569	1,193	1,207	0,4024	1,137	0,3789	1,276
<b>No. Efectivos (Shannon)</b>	2,0	2,1	3,1	1,3	3,6	1,7	3,1
<b>No. Efectivos (Simpson)</b>	1,6	1,5	2,7	1,2	3,4	1,5	2,6

Fuente: Esta Investigación

### 7.3 Diversidad Beta

La diversidad entre las zonas altitudinales se evaluaron mediante cálculo del recambio de especies, para lo cual se tuvo en cuenta datos tanto de la riqueza como de la abundancia de las especies de anfibios y reptiles, a partir de los cuales se obtuvieron los datos presentados en las Tablas 5, 6 y 7.

Tabla 5. Valores de similitud de Jaccard, riqueza y número de especies compartidas en cada zona altitudinal.

	Zona I: 1800m	Zona II: 2050m	Zona III: 2300m	Zona IV: 2550m	Zona V: 2800m	Zona VI: 3050m	Zona VII: 3300m
Zona I: 1800m	<b>3</b>	3	2	1	1	1	1
Zona II: 2050m	<i>0.5</i>	<b>6</b>	2	1	1	1	1
Zona III: 2300m	<i>0.4</i>	<i>0.42857</i>	<b>4</b>	1	1	1	1
Zona IV: 2550m	0.25	0.14286	0.2	<b>2</b>	1	2	1
Zona V: 2800m	0.16667	0.11111	0.14286	0.2	<b>4</b>	1	1
Zona VI: 3050m	0.25	0.14286	0.2	<b>1</b>	0.2	<b>2</b>	1
Zona VII: 3300m	0.14286	<i>0.1</i>	0.125	0.16667	0.125	0.16667	<b>5</b>

\*El número de especies de cada sitio se muestra en negrita en la celda común; el número de especies compartidas por los diferentes sitios se muestra en la parte superior derecha de la matriz y los coeficientes de similitud de Jaccard, se muestran en cursiva en la parte inferior izquierda de la matriz.

Fuente: Esta Investigación

El coeficiente de similitud entre la zona IV y la zona VI fue 1, debido a que presentan las mismas especies, como son *Pristimantis unistrigatus* y *Riama sp.* Por el contrario, entre la zona II y la zona VII, el valor de similitud fue de 0.1, lo cual indica que son sitios muy diferentes en cuanto a la composición de las especies, ya que su valor se acerca mucho a cero. También se presentaron valores intermedios como son entre las zonas I-II (0.5), I-III (0.4) y II-III (0.428). Las demás relaciones presentaron similitud baja, por lo que serían sitios con composición distinta de especies.

Tabla 6. Valores de similitud de Sorenson cuantitativo y número total de individuos en cada zona altitudinal.

	Zona I: 1800m	Zona II: 2050m	Zona III: 2300m	Zona IV: 2550m	Zona V: 2800m	Zona VI: 3050m	Zona VII: 3300m
Zona I: 1800m	<b>21</b>	—	—	—	—	—	—
Zona II: 2050m	<i>0.22988</i>	<b>66</b>	—	—	—	—	—
Zona III: 2300m	<i>0.30303</i>	<i>0.25641</i>	<b>12</b>	—	—	—	—
Zona IV: 2550m	<i>0.66666</i>	<i>0.12820</i>	<i>0.33333</i>	<b>12</b>	—	—	—
Zona V: 2800m	<i>0.06451</i>	<i>0.02631</i>	<i>0.09090</i>	<i>0.09090</i>	<b>10</b>	—	—
Zona VI: 3050m	<i>0.62857</i>	<i>0.125</i>	<i>0.30769</i>	<i>0.92307</i>	<i>0.08333</i>	<b>14</b>	—
Zona VII: 3300m	<i>0.5</i>	<i>0.11235</i>	<i>0.22857</i>	<i>0.62857</i>	<i>0.06060</i>	<i>0.59459</i>	<b>23</b>

\*El número total de individuos de cada sitio se muestra en negrita en la celda común y los coeficientes de similitud de Sorenson cuantitativo, se muestran en cursiva en la parte inferior izquierda de la matriz.

Fuente: Esta Investigación

Mediante el índice de Sorenson Cuantitativo, igual que con el coeficiente de Jaccard, entre la zona IV y VI hubo mayor semejanza, con un valor de 0.92307, muy próximo a 1, confirmando que son zonas muy similares. El valor más bajo obtenido fue entre la zona II y V con 0.02631, lo que indica que entre estos sitios, la composición de especies es distinta. También hubo datos intermedios como los de las zonas I-IV, I-VI y IV-VII.

Tabla 7. Valores de complementariedad para las zonas altitudinales.

	Zona I: 1800m	Zona II: 2050m	Zona III: 2300m	Zona IV: 2550m	Zona V: 2800m	Zona VI: 3050m	Zona VII: 3300m
Zona I: 1800m	<b>3</b>	3	2	1	1	1	1
Zona II: 2050m	<i>0.5</i>	<b>6</b>	2	1	1	1	1
Zona III: 2300m	0.6	0.75	<b>4</b>	1	1	1	1
Zona IV: 2550m	0.75	0.86	0.8	<b>2</b>	1	2	1
Zona V: 2800m	0.83	<b>0.89</b>	0.86	0.8	<b>4</b>	1	1
Zona VI: 3050m	0.75	0.86	0.8	<b>0</b>	0.8	<b>2</b>	1
Zona VII: 3300m	0.86	<b>0.9</b>	<b>0.87</b>	0.83	<b>0.87</b>	0.83	<b>5</b>

\*El número de especies de cada sitio se muestra en negrita en la celda común; el número de especies compartidas por los diferentes sitios se muestra en la parte superior derecha de la matriz y los valores de complementariedad se muestran en cursiva en la parte inferior izquierda de la matriz.

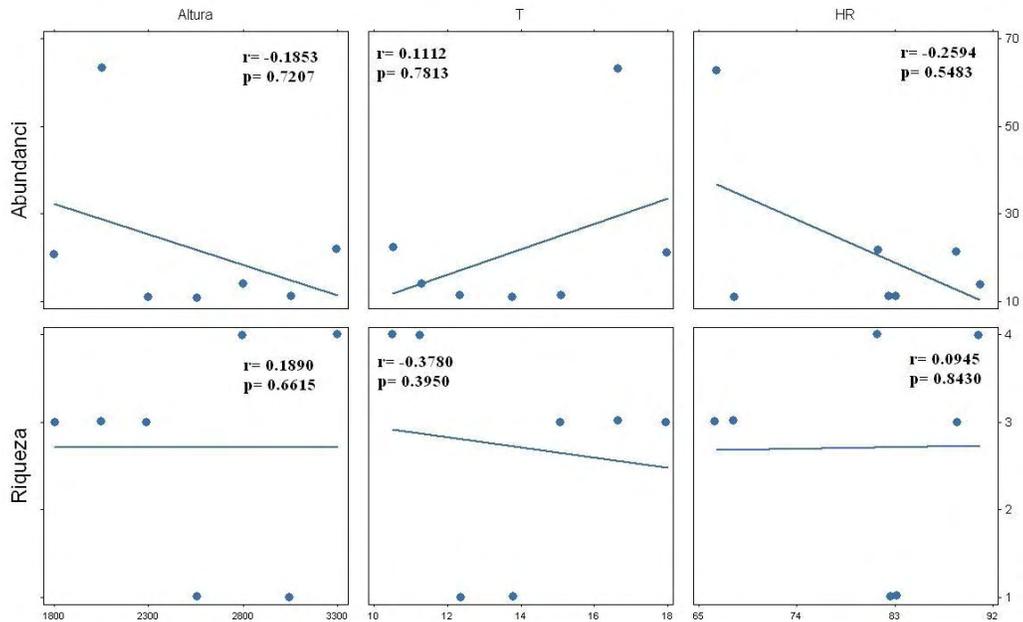
Fuente: Esta Investigación

Al igual que con los índices anteriores, la complementariedad entre la zona IV y VI presentó un valor de cero, puesto que comparten las mismas especies, entre la zona II y VII el valor es más cercano a 1, lo cual indica que son sitios que se complementan en cuanto a las especies, ya que cada una de las zonas tiene composición diferente; de manera similar se presenta con las zonas II - V, III - VII y V - VII, al tener valores de 0.89, 0.87 y 0.87 respectivamente. La zona I y II presentaron un valor medio de 0.5 debido a que comparten la mitad de sus especies.

#### 7.4 Análisis de Correlación Spearman

La Riqueza y Abundancia de especies de anuros no presentaron una asociación significativa con las variables evaluadas (Altitud, Temperatura y Humedad Relativa), presentando valores de r muy bajos y p-valores muy altos (Figura 8), además los puntos están muy dispersos y alejados de la recta. La Temperatura con la Riqueza tuvo valores cercanos a una correlación negativa media ( $r = -0.3780$ ) y un  $p$ -valor = 0.3950, sin embargo es  $p > 0.05$ . La variable con más baja relación fue la Humedad relativa con la riqueza, con el valor más bajos de r ( $r = 0.0945$ ) y más alto de p-valor ( $p = 0.8430$ ).

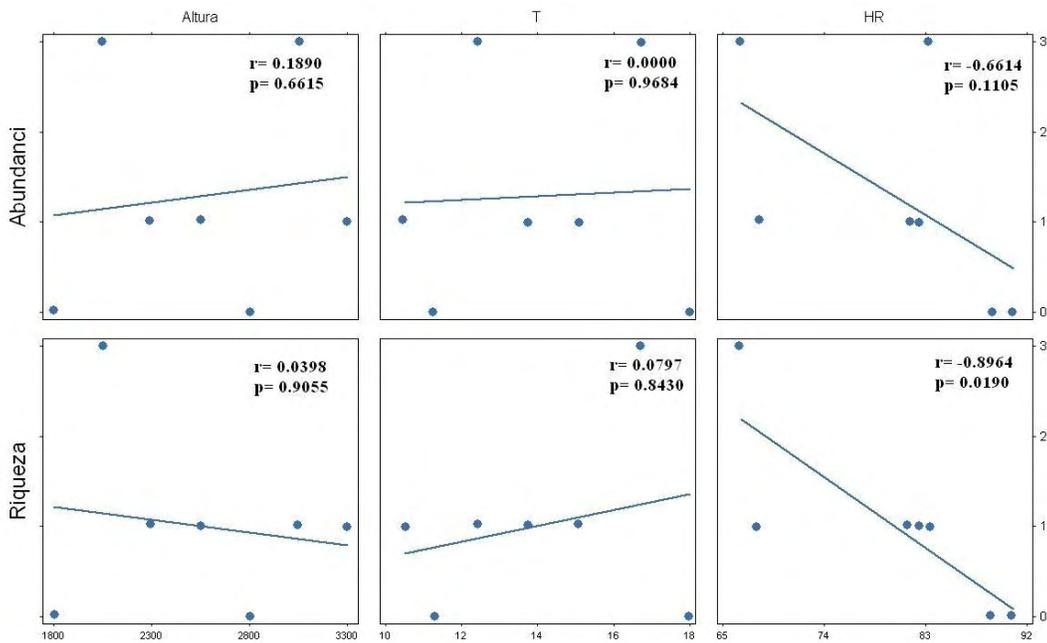
Figura 8. Análisis de correlación para las variables Altura, Temperatura y Humedad relativa vs Riqueza y Abundancia de especies de anuros.



Fuente: Esta investigación.

Para el caso de reptiles, la Altura y temperatura vs riqueza y abundancia de especies presentaron valores muy bajos de r y valores altos de p-valor (Figura 9), por lo cual no hubo ninguna relación significativa, sin embargo, con la humedad relativa se presentó lo contrario, para la riqueza un  $r = -0.8964$  y  $p\text{-valor} = 0.0190$  y para abundancia un  $r = -0.6614$  y  $p\text{-valor} = 0.1105$  lo cual determina una asociación muy significativa entre estas variables, en especial la riqueza con la humedad relativa, ya que su p-valor es  $< 0.05$ .

Figura 9. Análisis de correlación para las variables Altura, Temperatura y Humedad relativa vs Riqueza y Abundancia de especies de reptiles.



Fuente: Esta investigación

En la prueba de Anova de Kruskal-Wallis no se encontró diferencias significativas entre la altura y la riqueza de especies, con base en lo registrado en los ocho cuadrantes en cada zona altitudinal, ya que se obtuvo un valor  $P > 0.05$ ; de igual manera para la altura vs abundancia tampoco se encontraron diferencias significativas con los cuadrantes (Anexo 2), aunque su p-valor (0.06) fue muy cercano a 0.05, por lo que se comprueba estadísticamente que la riqueza y abundancia de las zonas altitudinales por medio de cuadrantes no son significativamente diferentes (Tabla 8).

Tabla 8. Valores obtenidos con la prueba de Kruskal-Wallis

<b>Variables</b>	<b>Estadístico Kruskal-Wallis</b>	<b>P-valor aproximación Chi-cuadrado</b>	<b>F</b>	<b>P-valor</b>
<b>Altura vs Riqueza</b>	8.7726	0.1868	1.55	0.1821
<b>Altura vs Abundancia</b>	11.5542	0.0727	2.17	0.0617

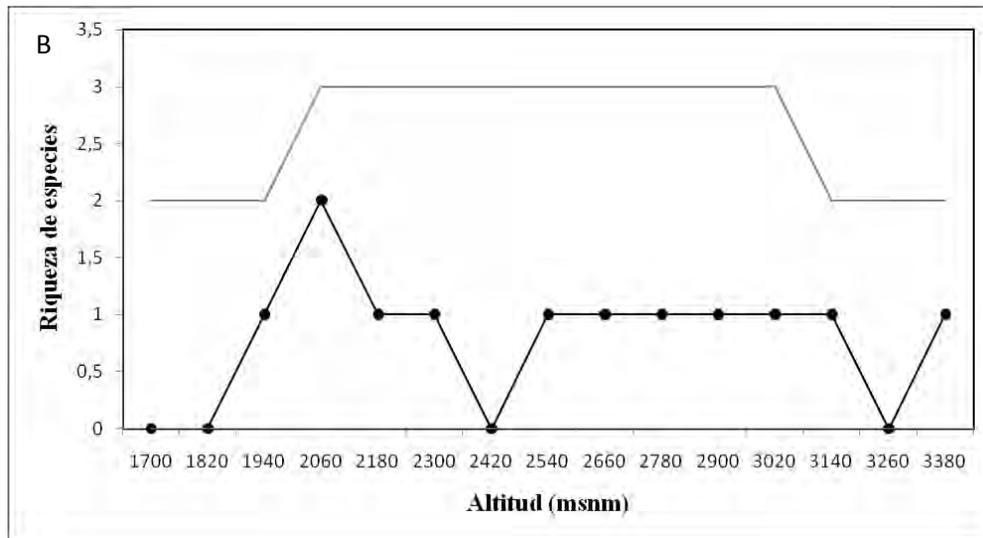
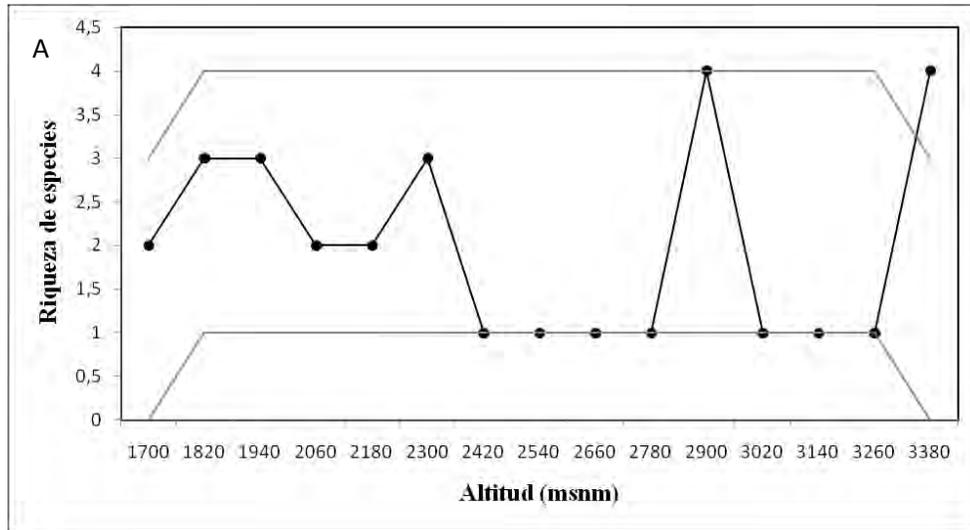
Fuente: Esta investigación

### 7.5 Modelo nulo de dominio medio

La riqueza de especies de anuros presentó un patrón variable con relación a la altura (Figura 10A), con dos picos más altos en 2800m muy cerca de la zona media y 3300m. La zona considerada la media para este gradiente (zona IV-2550m) fue de las zonas con riqueza más baja. Sin embargo, al realizar un análisis comparativo de los datos empíricos con la curva de predicción del 95% del modelo nulo del dominio medio usando tamaño del rango, se encontró que más del 90% de los puntos empíricos (14/15) están dentro de las curvas de predicción y solo 1 punto están por fuera. La regresión entre la riqueza de especies empírica y simulada presentó un valor de  $r^2$  muy bajo ( $r^2=0.1372$ ,  $f= 0.79$ ,  $p= 0.4135$ ), demostrando que no hay un ajuste al modelo nulo.

Para el caso de reptiles, la mayor riqueza se presentó en 2050m aproximadamente, a partir de la cual disminuye y en parte se mantiene estable hasta finalizar el gradiente (Figura 10B). El análisis comparativo de los datos empíricos con la curva de predicción del 95% del modelo nulo del dominio medio usando tamaño del rango encontró que todos los puntos empíricos están dentro de la curva de predicción. La regresión entre la riqueza de especies empírica y simulada presentó un valor de  $r^2$  demasiado bajo ( $r^2=0.0031$ ,  $f= 0.02$ ,  $p= 0.9058$ ), demostrando claramente que no hay un ajuste al modelo nulo.

Figura 10. Curva de riqueza de especies de anfibios anuros (A) y reptiles (B) en el suroccidente del Volcán Galeras (línea negra con círculos) y curvas de predicción con 95% generado por el modelo nulo de dominio medio (McCain, 2004).

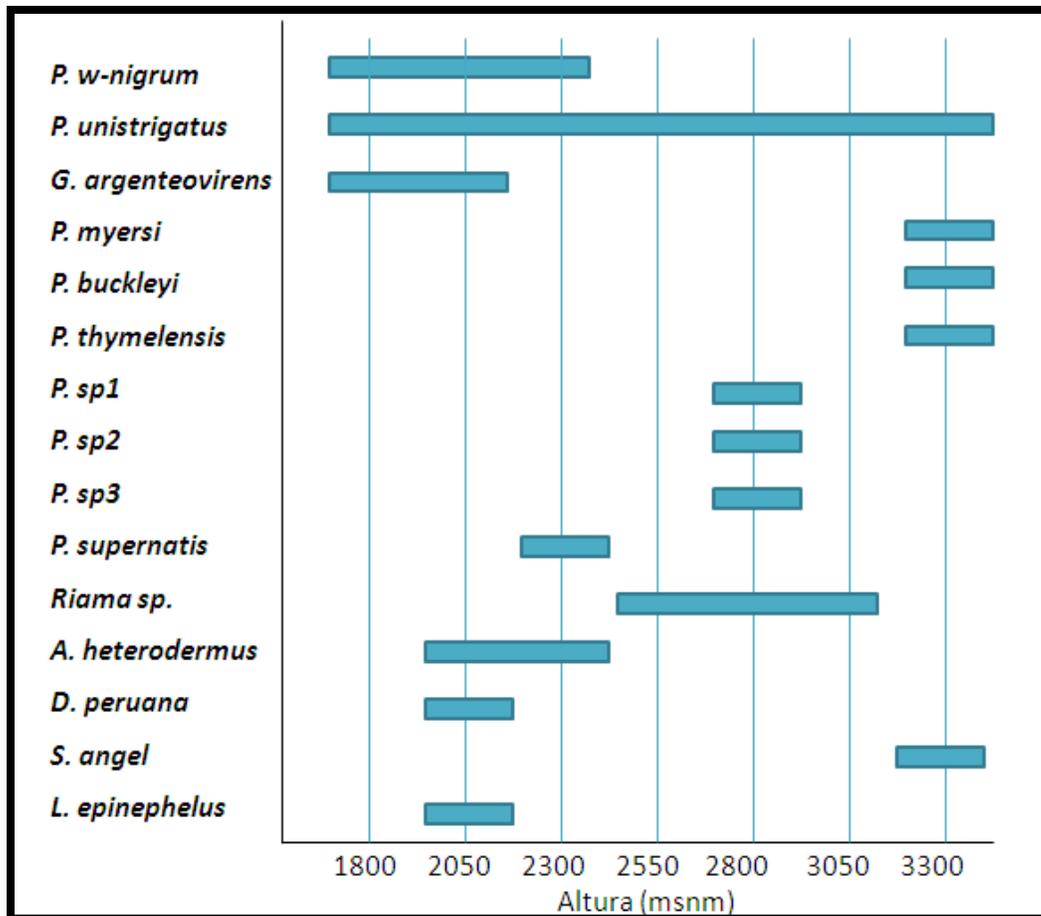


Fuente: Esta investigación.

### 7.6 Rangos de distribución altitudinal de anfibios y reptiles del flanco suroccidental del Volcán Galeras.

Las distribuciones altitudinales aquí presentadas no corresponden precisamente a los límites superior o inferior conocidos de las especies, por lo tanto, sólo reflejan la franja altitudinal evaluada en este estudio (Figura 11).

Figura 11. Perfil de rangos de distribución de las especies de anfibios y reptiles en el gradiente altitudinal del flanco suroccidental del Volcán Galeras



Fuente: Esta investigación.

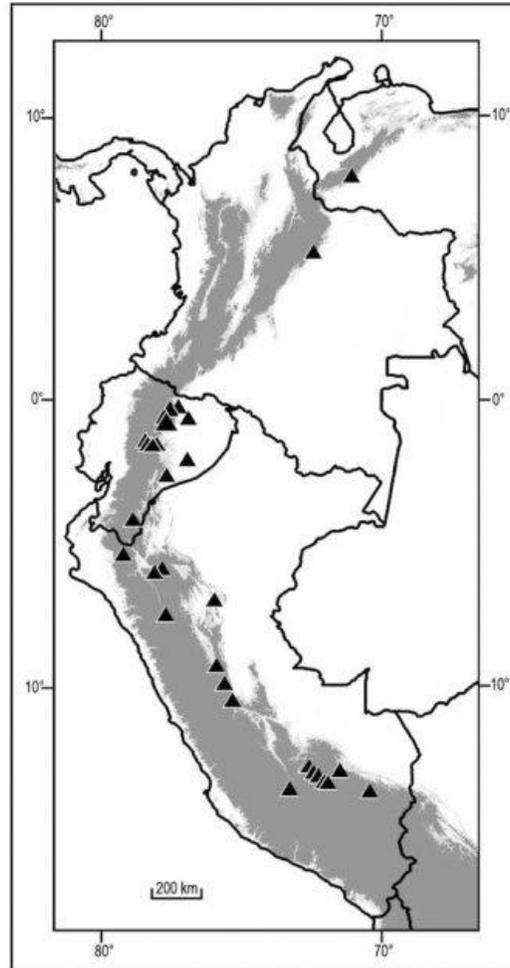
De las 15 especies detectadas en el estudio, diez fueron encontrados en una sola zona altitudinal, y de las cinco especies restantes, una sola se encontró en todo el gradiente. La especie de anuro que presentó mayor rango de distribución fue *Pristimantis unistrigatus*, ya que se encuentra desde el límite inferior de 1800m hasta el superior de 3300m de este estudio, seguido de *Pristimantis w-nigrum* que se encuentra en las tres zonas más bajas del estudio (1800-2300m) y *Gastrotheca argenteovirens*, ubicada solamente en los dos primeros sitios. Las siete especies restantes de anuros se encontraron en un único sitio de estudio, como se muestra en la Figura 11.

Para el caso de reptiles, la especie que presentó mayor rango de distribución fue *Riama sp.*, ya que se registró desde 2050m hasta 3050m; *Anolis heterodermus* se registró en la segunda y tercera zona del estudio y para las tres especies restantes, solo se encontraron en una zona altitudinal.

Un aporte importante en este estudio, es acerca de *Dipsas peruana* ya que la única publicación conocida sobre su distribución es la de Harvey & Embert (2008), en la cual para Colombia solo hay un registro en Boyacá “Valle del Rio Cusiana” a una altura de 1700m (Figura 12), por lo que se trataría de un registro nuevo para el departamento de

Nariño y para el sur de Colombia, puesto que sería una ampliación de rango para esta especie.

Figura 12. Distribución de *Dipsas peruana* Boettger, 1898



Fuente: Harvey & Embert (2008).

## 8. DISCUSIÓN

### 8.1 Riqueza y Abundancia de anfibios y reptiles en el flanco suroccidental del Volcán Galeras

De las 15 especies registradas en el estudio, el 73% (11 sp) fue encontrado a través de cuadrantes, el 66% (10 sp) se detectó con el método de búsqueda libre, el 33% (5 sp) solo en cuadrantes y el 27% (4 sp) solo en búsqueda libre, es decir, que el 40% (6 sp) fueron halladas por ambos métodos de muestreo (Anexo 3). Los resultados obtenidos entre estos métodos de muestreo no son muy diferentes, en contraste a lo encontrado en Naniwadekar & Vasudevan (2006), en el cual obtuvieron que el 83% de las especies se detectaron por encuentros visuales (VES) (búsqueda libre con restricción de tiempo de una hora) y que solo el 49% fue en transectos, aunque en su caso, el gradiente fue menor de 1500m. Por su parte, Martínez-Baños *et al.* (2011) aplicaron cuadrantes y VES, determinando la abundancia en base a un total de 48 cuadrantes (4 x 4m), lo que es similar al presente estudio donde se muestrearon 56 cuadrantes (10 x 10m) a partir de los cuales se obtuvieron la abundancia total pero se combinaron con los datos de búsqueda libre; el tamaño de la parcela depende del área total y la disponibilidad de recursos con que se cuente (Lips *et al.* 2001 citado por Calderón-Mandujano 2011). Además la mayoría de especies de anfibios detectadas fueron del genero *Pristimantis* y según Calderón-Mandujano (2011) sugiere que el método por parcelas o cuadrantes es muy útil para estas ranas. Gutiérrez-Lamus *et al.* (2004), también mencionan que el método de muestreo por búsqueda libre permite registrar más especies que el muestreo a lo largo de transectos y cuadrantes, pero estos métodos permiten el hallazgo y cuantificación de diferencias entre dos hábitats en cuanto a composición y abundancia de especies.

En este estudio los muestreos por búsqueda libre para anuros brindaron un porcentaje de completitud de muestreo mayor (72-94%) en comparación con el muestreo por cuadrantes (51-65%) a pesar de que se encontraron más especies en los cuadrantes, lo cual podría explicarse porque en las búsquedas libres los microhábitats son mejor muestreados, ya que son búsquedas dirigidas, brindando así una alta probabilidad de encontrar la mayoría de especies presentes, por el contrario en búsquedas por cuadrantes al ser sitios escogidos al azar no se alcanzaría a registrar todas las especies presentes, puesto que habrán lugares que no abarcarían a los cuadrantes. Para el caso de reptiles, hubo un mayor porcentaje de completitud con los muestreos por cuadrantes (67-100%) que por el método de búsqueda libre (37-54%), una razón de esta diferencia podría incluir el hecho de que los reptiles son organismos más activos y no se están quietos en un solo lugar por mucho tiempo (cuadrante), de esta manera, el método de búsqueda libre brindó mayor cantidad de microhábitats disponibles donde encontrar las especies, por eso aunque presentó más especies que el método de cuadrantes, aun faltaron algunas por registrar. Por esta razón, es de gran importancia la combinación de dos métodos de muestreo, y más aún cuando se realizan trabajos de inventario y monitoreo de la herpetofauna y si el interés es obtener la mayor cantidad de información de todas las especies (Calderón-Mandujano, 2011).

En el área del Volcán Galeras se han realizado otros estudios y muestreos principalmente en el flanco Suroriental en las Lagunas Telpis y Mejía (seis especies de anuros, 3600m; Narváez & Narváez, 2002) y sector de la Laguna Negra (nueve especies de anuros, 3400m; Benavides & Gómez, 2005), sin embargo para el sector Suroccidental del Volcán Galeras en los municipio de Yacuanquer y Consacá del Departamento de Nariño, no se reportan estudios de la diversidad de herpetofauna y menos de la variación altitudinal, debido a que los pocos estudios realizados se han enfocado en especies de zonas paramunas con alturas superiores a 3400m y también por ser zonas en mejor estado de conservación, por lo tanto este es uno de los primeros trabajos que aborda esta temática, en el que se registraron diez anuros (nueve *Pristimantis*) y cinco reptiles, mostrando así una baja riqueza en la zona suroccidental del Volcán Galeras.

Al comparar este estudio con otros realizados sobre gradientes altitudinales para anfibios y reptiles, me doy cuenta que la riqueza y abundancia de la especies registradas son muy diferentes, puesto que obtuve 15 especies entre anfibios y reptiles, en cambio Ortiz & Morales (2000), que evaluaron la herpetofauna en cinco localidades del Parque Nacional Llanganates-Ecuador en un rango altitudinal de 2150-3510m, encontraron 21 especies de anuros (la mayoría del género *Eleutherodactylus* ó *Pristimantis*), un caudata y un reptil; Cadavid *et al.* (2005), que evaluaron la composición y estructura de anuros entre 1000m y 3700m en los Andes Centrales de Colombia, encontraron 16 especies y 322 individuos, de las cuales 11 especies pertenecen al género *Eleutherodactylus* y Ramírez *et al.* (2009), estudiaron las asociaciones interespecíficas de anuros desde 1800-3600m, reportando 309 individuos en 27 especies de anuros, en el que la mayoría de las especies pertenecen al género *Pristimantis*, igual que en el presente estudio, que también fue el más abundante y presente en todas las zonas altitudinales. Estas diferencias pueden deberse al sitio de muestreo, la estructura del hábitat, la época de muestreo y de alguna manera a factores históricos y evolutivos de las especies y los ecosistemas estudiados.

Por otra parte, Arroyo *et al.* (2003) encontraron que el número y la abundancia de especies de *Eleutherodactylus* (*Pristimantis*) es bastante sensible al lugar donde se realice el transecto y asocian estos resultados con la cercanía o lejanía de los cuerpos de agua; teniendo en cuenta esto, en el presente estudio, la riqueza y abundancia de especies no parece depender directamente de la proximidad de los cuadrantes a cuerpos de agua, ya que se hicieron cuadrantes cercanos y lejanos a fuentes de agua sin encontrar mayor o menor abundancia de especies, a excepción de *P. w-nigrum*, que al parecer tiene un comportamiento ripario, ya que la mayoría de individuos se encontraron muy cerca a las quebradas. La presencia del género *Pristimantis* en todo el gradiente altitudinal se debe a que este grupo tiene una diversidad alta en tierras altas, además varios estudios herpetológicos realizados a más de 2000m, han demostrado patrones similares en cuanto a diversidad, tanto en la Cordillera Oriental (Suárez-Mayorga, 1999; Arroyo *et al.* 2003), Occidental (Rincón & Castro, 1998) y Central (Cadavid *et al.* 2005).

## 8.2 Diversidades Alfa y Beta

En Colombia, aproximadamente 1/3 de la diversidad de ranas pertenecen al género *Eleutherodactylus* (*Pristimantis*) y la distribución de las especies es muy desigual; por eso,

de estas ranas se encuentran menos de cinco especies en un solo sitio. Este tipo de distribución separa unos focos muy ricos en especies (en Colombia occidental, Ecuador y La Española). Cada uno de estos focos se encuentra en una zona montañosa, pero hay zonas montañosas en otros países que no poseen una diversidad de *Pristimantis* correspondiente a estos. Además, la fauna de la zona andina es similar a la Guayanense, en la cual hay una diversidad alfa relativamente baja y una diversidad beta alta y superpuesta al patrón de diversidad beta, esta la disminución en el número de especies cuando se asciende por las faldas andinas, por ello, en las cordilleras las especies de *Pristimantis* tienen áreas de distribución pequeñas y exhiben una diversidad beta alta, como un archipiélago de islas y normalmente estas ranas se distribuyen a manera de bandas sobre la cordillera occidental (Lynch, 1998;1999).

En este estudio, al comparar la diversidad alfa en las zonas altitudinales se determinó que la zona V presentó la mayor diversidad, al observar que sus números efectivos en base a la entropía de Shannon ( $q_1$ ) y Simpson ( $q_2$ ) fueron de 3.6 y 3.4 especies respectivamente, mientras que las zonas IV y VI presentaron la más baja diversidad ( $q_1=1.3$  y  $1.7$  especies;  $q_2=1.2$  y  $1.5$  especies). Por otra parte, la zona II a pesar de ser la zona con mayor número de especies (seis especies) presentó una diversidad  $q_2$  muy baja, debido a que  $q_2$  se ve reflejado en las especies muy abundantes, que para esta zona hay una especie que es la dominante respecto a las demás, haciendo que su diversidad sea baja con un  $q_2=1.5$  especies. Esto pudo deberse a que las zonas con menor diversidad (zona IV y VI) estaban más influenciadas con áreas de potreros y su vegetación fue de estrato bajo, no se encontraron árboles de gran tamaño y las fuentes de agua eran escasas; estas zonas fueron las más afectadas por las intervenciones antrópicas y por las condiciones de los suelos que estaban muy secos. Además, las zonas con mayor diversidad a excepción de la zona VII presentaron bosques secundarios maduros, con árboles muy altos (20-25m de altura aprox.) y aunque las fuentes de agua siempre fueron escasas, la vegetación brindó más tipos de microhábitats para la subsistencia de más especies de anfibios y reptiles.

Por su parte, la diversidad beta es un factor muy importante que captura un aspecto fundamental de la diversidad de especies, siendo una medida de la diferencia en la composición de especies entre dos o más ensamblajes locales o regionales; conforme se incrementa la diversidad beta, las localidades individuales diferirán más marcadamente una de la otra y representaran una menor proporción de las especies que habitan en la región (Koleff, 2005). Así, en el estudio se muestra una alta diversidad beta entre las zonas II, V y VII. Las zonas IV y VI presentan una diversidad beta muy baja, puesto que son muy similares en la composición de sus especies, lo que es contrario en las zonas II y VII que presentaron un 90% de complementariedad, debido a la diferencia en sus especies, principalmente en reptiles; de manera similar las zonas II y V se complementan en un 89%. Esto es posible que se relacione con la heterogeneidad de hábitats en cada zona altitudinal, por ejemplo la zona II presentaba varias fuentes de agua y estaba cerca a zonas de cultivos, mientras que en la zona VII las fuentes de agua eran escasas y su vegetación estaba asociada a potreros; estas condiciones brindan distintos microhábitats

y podría hacer la diferencia en la supervivencia de ciertas especies en las zonas, por lo cual estos sitios se complementan en gran medida.

Estos valores de diversidad presentados en el estudio tanto en áreas de reservas (áreas protegidas) como en zonas de no reservas, es debido a la presencia de varias especies raras o con baja densidad, que de acuerdo con Halffter & Ecurra (1992) “cuanto mayor es el grado de dominancia de algunas especies y rareza de las demás, menor será la diversidad de la comunidad”, entendiéndose por “especies raras” las que se encuentran en números muy bajos como para representar un problema de conservación, y en algunos casos, como para encontrarse amenazadas de extinción. Sin embargo, la conservación de la biodiversidad está estrechamente ligada al comportamiento ecológico de las especies raras, ya que son estas especies las responsables del comportamiento de las curvas especie-área, y de la forma de los diagramas de abundancias de especies, los cuales son dos herramientas metodológicas de gran importancia en el estudio de la biodiversidad. Además la diversidad no solo depende de la riqueza de especies, sino también de la dominancia relativa de cada una de ellas, por eso, los estimadores no paramétricos de riqueza de especies, Chao y Jackknife son reportados como los menos sensibles a la distribución irregular de las especies y probabilidad de detección, ya que proporcionan mejores resultados cuando una comunidad es representada por un alto número de especies raras (Hortal *et al.* 2006; Colwell & Coddington 1994; Chettri *et al.* 2009).

Según Rabinowitz y col. (1986) citado por Halffter & Ecurra (1992), la rareza ecológica de las especies se da en escalas: *a. Rareza biogeográfica*, especies que sólo se encuentran en regiones específicas y forman endemismos biogeográficos particulares (especies de animales de cuevas, islas, o alta montaña). *b. Rareza de hábitat*, especies muy específicas en cuanto al hábitat, no son endémicas a nivel biogeográfico, son especies "estenoicas" o de hábitat restringido y especies "eurioicas" o de distribución amplia. *c. Rareza demográfica*, especies que presentan densidades bajas en toda el área de distribución, aunque ésta sea amplia y no estén asociadas a hábitats específicos.

Es así que para este estudio, la rareza de especies de anuros se presenta en escala de hábitat, ya que *Pristimantis unistrigatus*, es una especie eurioica por su presencia en todo el gradiente altitudinal, aunque según Coloma *et al.* (2010), esta especie se registraría solo entre 2200-3400m; dada su capacidad adaptativa y estrategia reproductiva en ausencia de cuerpos de agua y desarrollo directo es exitosa en ambientes intervenidos (Cadavid *et al.* 2005). Sin embargo, especies como *Pristimantis thymelensis*, *Pristimantis buckleyi* y *Pristimantis myersi* serían especies estenoicas, ya que solo estuvieron presentes en la zona más alta del gradiente altitudinal y son reportadas en un rango altitudinal desde 3220-4150m para *P. thymelensis* (Castro *et al.* 2010a), de 2500-3700m para *P. buckleyi* (Yáñez-Muñoz *et al.* 2010) y 2900-3275m para *P. myersi* (Castro *et al.* 2004), es decir que estas tres especies son conocidas en zonas altas, mayores a 2500m. En el caso de reptiles, las pocas especies que se registraron tuvieron muy baja abundancia, menor o igual a tres individuos, y en las zonas I y V no se encontraron individuos.

### 8.3 Efecto de dominio medio

Varios estudios reportan que el efecto de dominio medio es una variable importante para explicar los patrones de riqueza de especies a lo largo de gradientes altitudinales (McCain, 2004; Bachman *et al.* 2004; Kluge *et al.* 2006; Fu *et al.* 2006). En este estudio, los anfibios y reptiles del suroccidente del Volcán Galeras no se ajustaron al modelo nulo de dominio medio ( $r^2=0.1372$  y  $0.0031$  respectivamente), indicando que no están limitados por los fuertes límites geográficos. El límite inferior más bajo en el estudio presentó zonas de potreros muy cercanas, pero también áreas de bosques con grandes árboles y el límite superior estuvo cerca a la zona de páramo y asociada a potreros. Por lo tanto, la vegetación y las condiciones ambientales pudieron ser factores determinantes con respecto a la distribución de los anfibios y reptiles en esta cordillera, además de los factores evolutivos e históricos.

Para los anuros no se cumplió la hipótesis planteada de dominio medio, en la que la mayor riqueza de especies se encuentra en la zona intermedia (Fu *et al.* 2006; Naniwadekar & Vasudevan, 2007), ya que la mayor riqueza se detectó en dos picos altitudinales, la zona V (2800m) con cuatro especies y la zona VII (3300m) con cinco especies; la zona IV (2550m) que se consideraba la media en este estudio, fue en la que se presentó menor riqueza con tan solo una especie, además tampoco fue decline monótono, porque la última zona también tuvo valores de riqueza altos, es decir, no siguió ninguno de los modelos planteados para el trópico. Al parecer el modelo nulo de dominio medio funciona de mejor manera cuando se evalúa un gradiente altitudinal a mayor escala (0-3500m ó más), en el cual el dominio medio se presenta por encima de los 1000m y debajo de 2000m, por ejemplo Naniwadekar & Vasudevan (2007), esperaban encontrar un pico medio altitudinal, por lo que plantearon un rango de 40-1260m, encontrando 25 especies de anuros, pero no observaron un pico medio altitudinal, su mayor riqueza fue encontrada a los 1100m (límite superior) porque en ese punto las condiciones fueron más favorables. Sin embargo, Fu *et al.* (2006) plantearon un gradiente altitudinal de 400-5000m, registrando 94 especies de ranas y un ajuste del modelo de dominio medio, principalmente para la especies endémicas (pico máximo 2400-2600m), ya que para las especies no endémicas estuvieron más fuertemente correlacionadas con la Temperatura y la Precipitación y de manera muy débil con el dominio medio. Es así, que el efecto de dominio medio es un factor muy importante que explica los patrones de riqueza altitudinal, pero especialmente en regiones con alto valores de endemismo (Fu *et al.* 2006), siendo así una razón más para explicar los resultado obtenidos en el presente estudio, ya que las especies registradas no son endémicas de esta región.

Para los reptiles, la hipótesis de dominio medio no se cumplió, ya que la regresión entre los datos de riqueza de especies empíricos y los simulados no fue significativa ( $r^2=0.0031$ ), sin embargo es posible que se ajuste a un decline monótono, ya que el pico con mayor riqueza fue a 2050m, a partir del cual disminuye, pero con presencia de una especie en la máxima altura, caso similar ocurrió en el estudio de Fu *et al.* (2007) al evaluar los reptiles en un gradiente de 500-4500m, en el que detectaron la máxima riqueza de especies entre 1000-1500m a partir del cual decrece significativamente,

también Chettri *et al.* (2009) tuvieron en cuenta un gradiente altitudinal de 300-4800m para estudiar a los reptiles, obteniendo 45 especies y la riqueza no mostró un pico de elevación media, sino un decline monótono, donde la mayor riqueza estuvo entre los 500-1000m, a partir del cual fue disminuyendo y después de los 3000m no detectaron individuos. La disminución de especies de reptiles a lo largo de un gradiente altitudinal es un modelo general reportado por varios estudios (Hofer *et al.* 1999).

#### 8.4 Factores bióticos y abióticos

Varios factores bióticos y abióticos se han reportado que influyen en la distribución de la herpetofauna, por ejemplo, Inger *et al.* (1987) encontraron asociaciones entre la riqueza de especies y el tipo de bosque en elevaciones bajas y medias en el sureste de Western Ghats. Hofer *et al.* (1999), evaluó los ecotonos y el efecto de la competencia en la riqueza de especies de herpetofauna en altitudes medias y altas en Camerún, proporcionando evidencia del rol jugado de los factores abióticos en la distribución de las especies. Naniwadekar & Vasudevan (2006), también brindan evidencia de la fuerte influencia ejercida por los factores abióticos, ya que el incremento en la humedad del suelo y la disminución en la temperatura del suelo fueron asociados con el incremento en la riqueza de especies de anuros.

Algunos estudios han determinado que en zonas altas habrá mayor diversidad de anfibios que de reptiles, debido a las altas demandas de energía y temperatura que requieren los reptiles (Navas, 2003), por ello, la distribución de ranas colombianas que alcanzan altitudes superiores a 2600m sugiere que la mayoría de las especies pueden ser especialistas de altitud, ya que sólo unas cuantas de las especies de anuros muestran rangos de altitud mayores a 1500m y la mayoría exhiben distribuciones altitudinales muy estrechas, es así que anuros y saurios presentan patrones contrastantes de diversidad en elevaciones altas en los Andes tropicales, registrando principalmente lagartos como *Proctoporus (Riama)*, mientras que los anuros están representados por varias familias en diferentes géneros y muchas especies, no obstante, para el caso de los anuros de los andes tropicales, las adaptaciones que involucran selección de hábitat y comportamiento no parecen ser responsables de la ampliación de rangos altitudinales (Navas, 2006).

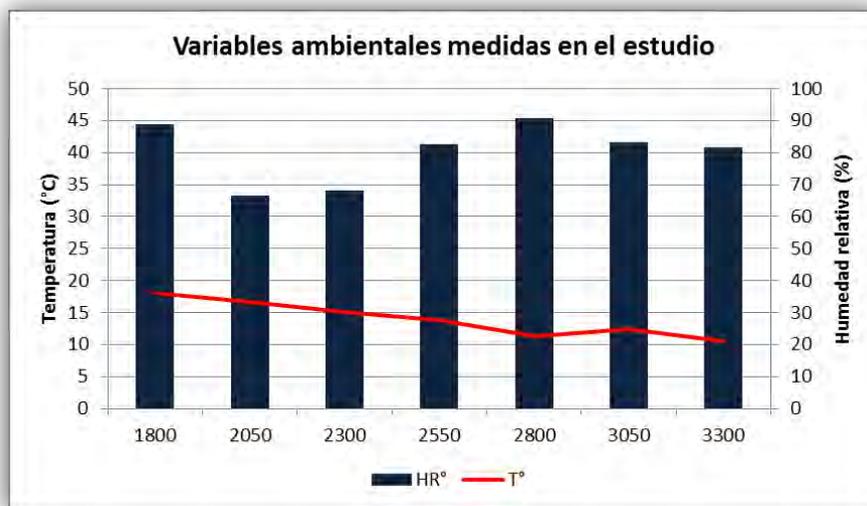
Por otra parte, Lawton (1999) determinó que el número y calidad de las especies depende del *pool* regional y por lo tanto de la historia evolutiva de la biota y de la tierra. Entre el *pool* regional y el ensamble local se presentan una serie de filtros que trabajan tanto en escalas espaciales como temporales y que establecen que en un determinado lugar unas especies del *pool* existan y otras no; estos filtros son los fenómenos ecológicos y ambientales que moldean las comunidades. Además la riqueza de especies en una región depende del tiempo de la primera colonización y su dispersión biogeográfica y el posterior mantenimiento de aquellas características ancestrales a través del tiempo (Chettri *et al.* 2009).

Otro factor que influye en la diversidad de anfibios y reptiles es la acumulación de ceniza volcánica, que para este caso en particular, proveniente del Volcán Galeras en el Departamento de Nariño (Volcán activo), lo cual generaría efectos nocivos para la flora y

la fauna, contaminación de los recursos hídricos, colmatación de fuentes, interrupción de la accesibilidad y probable migración de especies animales. Es así que en algunos predios de las Reservas privadas localizadas entre los municipios de Consacá y Yacuanquer suele llegar a 14 cm la acumulación de ceniza cuando se dan eventos de erupción, lo cual pueden generar pérdida total de la fauna y la flora de estos lugares, a pesar de encontrarse en amenaza baja (Ministerio del Interior y de Justicia, 2009).

En este estudio también se evaluó la influencia de la Temperatura ambiental y la Humedad Relativa del ambiente en cada una de las zonas altitudinales, obteniendo que la diferencia de la temperatura media desde 1800m hasta 3300m fue de 8°C (18°C-10°C) y la diferencia en la humedad relativa fue del 7% (88.8%-81.5%). La temperatura disminuyó conforme se aumentó la altitud, mientras que la humedad relativa mostro dos picos altos (1800m y 2800m) en el gradiente altitudinal, muy cercanos a 90% y como se observa en la Figura 13, las zonas con mayor humedad no fueron las más altas, sino por el contrario, una de ellas fue la zona más baja del estudio y la otra cercana a la zona intermedia. Estos datos tan diversos en las variables estudiadas muestran que en el flanco suroccidental del Volcán Galeras en la época evaluada se presentó variaciones climáticas, ya que los meses que se consideraban como lluviosos presentaron una extrema sequia, afectando en gran medida la humedad del suelo y por consiguiente la flora y la fauna que dependen de las lluvias y la humedad.

Figura 13. Temperatura y Humedad Relativa de las siete zonas altitudinales del flanco suroccidental del Volcán Galeras.



Fuente: Esta investigación.

#### 8.4.1. Factores relacionados con la diversidad de anuros

La altura a la cual la riqueza de especies varía con el grupo taxonómico está determinada por la ecofisiología, requerimientos reproductivos e historia evolutiva (Becker *et al.* 2007). Por ello, diversos trabajos han encontrado que debido a sus características

fisiológicas y etológicas, la riqueza, abundancia y distribución de anuros, son influenciados significativamente por la heterogeneidad espacial, respondiendo en mayor grado a la estructura del hábitat, que a la presencia o ausencia de especies vegetales particulares (Ramírez *et al.* 2009), además por su condición ectotérmica, permeabilidad tegumentaria y requerimientos ecológicos, los hacen altamente sensibles a cambios en su hábitat (Castro & Kattan, 1991 citado por Herrera *et al.* 2004), lo cual pudo afectar de manera considerable a los anuros del estudio, puesto que varias zonas muestreadas eran parches de bosques secundarios en medio de zonas de potreros o cultivos y es posible que estas zonas hayan albergado en el pasado un número mayor de especies, adaptadas a un bosque maduro, con abundantes corrientes de agua, en las que se encontrarían algunas especies de Centrolénidos, en riachuelos, en pastizal o en vegetación chaparra habría algunos Dendrobátidos del género *Colostethus*.

Por otra parte, la presencia de ranas del género *Pristimantis* en todo el gradiente altitudinal en este estudio está muy relacionado a la forma en que se adaptaron al ambiente (habitan en zonas intervenidas) y utilizan la vegetación, por ejemplo usan las hojas del sotobosque no solo como plataforma para esperar a sus presas, sino también como sitio para cantar (los machos) y reproducirse (Lynch y Duellman, 1997). En cambio, las ranas del género *Gastrotheca* viven asociadas a la vegetación arbustiva densa pero cercana al agua estancada o a las pequeñas quebradas de agua corriente, donde sus formas larvianas juveniles pueden completar su desarrollo (Ortiz y Morales, 2000).

Además de la alteración del hábitat, otro factor relacionado con la declinación mundial de anfibios podría haber afectado a las comunidades y entre las causas de tal disminución podríamos enfocarnos a factores naturales y a efectos de la actividad humana, o incluso tratarse de la combinación de ambos, por ello, las principales causas que han sido mencionadas son la fragmentación y la pérdida de hábitat, la radiación ultravioleta, el calentamiento global, la contaminación ambiental, la introducción de especies exóticas y más recientemente, la aparición de enfermedades relacionadas con hongos (Angulo *et al.* 2006; Andrade, 2011). Es así, que para las comunidades de anuros, los efectos de la fragmentación de hábitat probablemente están basados principalmente en una reducción de la diversidad de artrópodos (Navas & Otani, 2007), lo cual se evidenció en este estudio, ya que en la mayoría de las zonas muestreadas la presencia de insectos y otras presas para los anuros fueron muy escasos.

Asimismo se debe tener en cuenta que cada grupo natural tiene un rango de tolerancia térmica, adaptación etológica y fisiológica que probablemente los mantiene protegidos contra condiciones ambientales extremas, por ello, se considera que la mayoría de grupos de anfibios en los trópicos, pueden ser activos en la noche como una adaptación para evitar las altas temperaturas del día (Herrera *et al.* 2004); esto se pudo comprobar en el estudio, ya que los anuros registrados fueron encontrados principalmente en hojarasca y sobre hojas de Bromélias, la mayoría en horas de la noche, precisamente para evitar las temperaturas altas. Esta notable plasticidad, ya sea evolutiva o fenotípica, sugiere que los ajustes en la biología térmica son fundamentales para los anuros poder invadir grandes alturas, sin embargo, dado que la adaptación térmica parece común en

diversos Taxa, la propia temperatura no podría ser el principal factor responsable de la disminución de la diversidad de anuros lo largo de gradientes altitudinales en los Andes Tropicales (Navas, 2006).

En este estudio se observó escasa lluvia y los suelos se encontraban muy secos, brindando una alta probabilidad que influyera en la riqueza de las especies, además, el análisis de correlación evaluado entre las variables Temperatura, Humedad relativa y Altitud con respecto a la Riqueza y Abundancia de especies de anuros no mostró una relación significativa, por lo cual ninguna de las variables afecto de manera significativa la diversidad de anuros, aunque la variable que más se aproxima a explicar esta distribución de la riqueza a través del gradiente altitudinal sería la temperatura ( $r = -0.3780$ ,  $p = 0.3950$ ) y respecto a la abundancia sería la humedad relativa ( $r = -0.2594$ ,  $p = 0.5483$ ), sin embargo, es posible que otras variables sean las que están implicadas en la distribución de los anuros, como la precipitación, la presión parcial de  $O_2$  y  $CO_2$ , estructura del hábitat, presencia o ausencia de fuentes de agua y cantidad de presas disponibles, por ejemplo, Fu *et al.* (2006) concluyeron que la temperatura y la precipitación son los factores que se relacionaron más fuertemente con la riqueza de anuros.

Por su parte, Naniwadekar & Vasudevan (2007) afirman que el incremento en la humedad del suelo y la disminución de la temperatura del suelo están asociados con el incremento en la riqueza de anuros, puesto que la temperatura ambiente regula las funciones fisiológicas y metabólicas de los anuros (Duellman & Trueb, 1994), además las altas elevaciones en los trópicos suelen caracterizarse por presentar una mayor humedad del suelo y abundantes aguas estancadas, que brindarían microhábitats adecuados para los anuros (Navas, 2003), no obstante, en este estudio hubo gran escasez de este tipo de microhábitats, porque los suelos estaban secos y varias zonas sin presencia de fuentes de agua cercanas. Adicionalmente, la baja eficiencia de la conducta termorreguladora de los anuros incrementa la importancia de la adaptación fisiológica asociada con la disminución en la temperatura, que caracteriza las elevaciones tropicales altas, por esta razón, muchas ranas neotropicales de altitudes elevadas, especies nocturnas en particular, mantienen una fuerte actividad en el frío en lugar de una tolerancia pasiva a bajas temperaturas, además algunas ranas tropicales de altas elevaciones incrementan su temperatura corporal oportunísticamente, mientras que otras no termorregulan o evitan altas temperaturas (Navas, 1997). Sin embargo, el costo de mantenimiento de los anfibios, puede incrementar directamente como consecuencia de cambios de temperatura y exposición a contaminantes (Navas & Otani, 2007).

#### 8.4.2. Factores relacionados con la diversidad de reptiles

La presencia de una baja diversidad de reptiles en altitudes mayores puede ser causada por condiciones ecofisiológicas, tales como la temperatura (Fu *et al.* 2007), baja productividad (Mittelbach *et al.* 2001) y baja disponibilidad de agua (McCain, 2007b), no obstante, la riqueza de especies también depende de la capacidad de retención de características ecológicas ancestrales a través del tiempo evolutivo, lo cual podría ser un determinante importante para la disminución de las especies en un gradiente altitudinal como en un gradiente latitudinal (Chettri *et al.* 2009). Para los reptiles algunas causas de

pérdida de diversidad son la sobreexplotación, la caza, la fragmentación y la pérdida de hábitat (Andrade, 2011).

Según Navas (2006) la temperatura puede ser el factor estresante más importante para lagartos tropicales de gran altitud y otros vertebrados ectotérmicos-heliotérmicos, ya que los lagartos exhiben una biología térmica conservada, al menos con respecto a algunos aspectos relevantes de la fisiología (Angilletta *et al.* 2002), tal vez debido a que utilizan principalmente la termorregulación conductual para ampliar los rangos altitudinales (Huey *et al.* 2003), así las temperaturas de actividad tienden a permanecer constante a lo largo de la elevación (Navas, 2003).

Los géneros que alcanzan altitudes por encima de 2500m, como *Proctoporus (Riama)*, *Anolis* y *Stenocercus* suelen considerarse heliotérmicos, y pueden mantener la temperatura del cuerpo caliente por compensación de la conducta en los gradientes altitudinales (Navas, 2006) y si esta generalización se mantiene, quedaría claro que los lagartos de los Andes tropicales muestran una fuerte tendencia a adaptarse a alturas elevadas, principalmente a través del comportamiento (Navas, 2003). Estos tres géneros de lagartos estuvieron presentes en el estudio, *Anolis* fue visto en zonas bajas del estudio (<2500m), las especies de este género exhiben bajas temperaturas de actividad que otros géneros, independiente de la altitud; *Riama* se registró entre 2500m y 3000m, pero *Stenocercus* se reportó por encima de los 3200m, siendo el género que se adapta de mejor manera al frío.

Por otra parte, Hofer *et al.* (1999), reporta que los reptiles terrestres responden más fuertemente a la temperatura que a la humedad y Chettri *et al.* (2009), mostraron que la temperatura tuvo un decline monótono con la altitud y una relación lineal positiva con la riqueza de especies. Sin embargo, en este estudio hubo una fuerte correlación negativa entre la humedad relativa y la riqueza de especies de reptiles ( $r = -0.8964$ ,  $p = 0.0190$ ) y una correlación negativa moderada entre la humedad relativa y la abundancia de reptiles ( $r = -0.6614$ ,  $p = 0.1105$ ), contradiciendo lo mencionado anteriormente, ya que los reptiles respondieron de mejor manera a la humedad y no a la temperatura, lo cual tendría que ver con la disponibilidad de agua, es decir la presencia de lluvias en las zonas de estudio y como se había mencionado, los muestreos se realizaron prácticamente en época de sequía (aunque los meses muestreados correspondían a época de lluvia), el factor lluvia estuvo ausente; confirmando lo anterior, Fu *et al.* (2007) menciona que la riqueza de especies de reptiles presenta una correlación positiva con la lluvia y la evapotranspiración.

Por eso, los reptiles también se pudieron ver afectados por factores, como la evapotranspiración, disponibilidad de agua, las lluvias, en las cuales la riqueza de especies incrementa cuando hay aumento en la lluvia y la productividad primaria, siendo para los lagartos, la disponibilidad de agua un limitante clave en la riqueza de especies y el potencial de evapotranspiración el mejor predictor de la riqueza de especies de serpientes a lo largo de un gradiente altitudinal en la Montaña Hengduan, China (Fu *et al.* 2007), y en este estudio también pueden ser de gran importancia, también el suministro de oxígeno a los huevos a altas elevaciones es un hecho importante, ya que al parecer es un factor limitante en la distribución de los lagartos, porque sus huevos presentan una

concha calcárea y podría limitar la toma de oxígeno; este problema puede empeorar por la alta humedad relativa, en particular cerca del nivel sustrato por la predominancia de musgos en los suelos de páramo, además si el sustrato es muy húmedo, un aumento de temperatura elevaría la presión de vapor de agua, disminuyendo así el número de moléculas de oxígeno por volumen de aire y aumentaría los requerimientos de oxígeno y tasa metabólica de los embriones, aunque este problema puede variar con la latitud (Navas, 2003).

## CONCLUSIONES

La diversidad de herpetofauna a lo largo del gradiente altitudinal evaluado fue baja, debido a que se registraron 15 especies, 10 anfibios y 5 reptiles. Según los estimadores no paramétricos, para anuros se ha muestreado > 90% de las especies por búsqueda libre y 65% por cuadrantes. Para reptiles se muestreo un 54% de las especies por búsqueda libre y >95% por cuadrantes.

A pesar de los pocos datos, la zona V (2800m) presento mayor diversidad en comparación con las demás zonas altitudinales con  $q_1=3.6$  y  $q_2=3.4$  especies. Y la diversidad beta fue mayor entre las zonas II y VII con un 90% de complementariedad.

Los datos de riqueza de anfibios y reptiles del suroccidente del Volcán Galeras no se ajustaron al modelo nulo de dominio medio, es decir no hubo relación entre la riqueza empírica y la simulada ( $r^2=0.1372$  y  $r^2=0.0031$  respectivamente). Sin embargo, para reptiles se aproxima a una disminución monótona.

Según el análisis de correlación de Spearman, ninguna de las variables analizadas (Altitud, Temperatura y Humedad relativa) tuvo una relación significativa con la riqueza y abundancia de especies de anuros, pero para el caso de los reptiles, la humedad relativa tuvo una fuerte correlación negativa con la riqueza de especies ( $p<0.05$ ).

A partir del presente estudio se obtuvo un nuevo registro de la especie *Dipsas peruana* para el departamento de Nariño y sur de Colombia, tratándose así de una ampliación de rango.

## RECOMENDACIONES

Al ser este estudio el primero para el sector suroccidental del Volcán Galeras, se recomienda hacer un seguimiento por lo menos anual con el fin de saber que otras especies pueden encontrarse en el gradiente altitudinal, teniendo en cuenta principalmente los meses de lluvias, donde las condiciones del suelo sean más apropiadas a las actualmente evaluadas.

También se recomienda explorar otros gradientes altitudinales para comparar la composición de las especies y como es el comportamiento de las mismas, incluso a las mismas alturas, pero en sitios que no han sido explorados aún.

Para otros estudios se recomienda evaluar otras variables, como la precipitación, la estructura del hábitat, el potencial de evapotranspiración y la disponibilidad de agua, así como la cantidad de presas disponibles.

## BIBLIOGRAFÍA

Acosta-Galvis, A., Huertas-Salgado, C. & Rada, M. 2006. Aproximación al conocimiento de los Anfibios en una localidad del Magdalena medio (Departamento de Caldas, Colombia). *Rev. Acad. Colomb. Cienc.* 30(115): 291-303. ISSN 0370-3908.

Aguirre-León, G. 2011. Métodos de Estimación, Captura y Contención de Anfibios y Reptiles. En: Gallina, S. & López-González, C. (editores). Manual de técnicas para el estudio de la fauna. Volumen I. Universidad Autónoma de Querétaro-Instituto de Ecología, A.C. Querétaro, México. 2011. 377 pp.

Alcaldía de Yacuanquer. 2012. Sitio oficial de Yacuanquer, Nariño. De nuevo manos a la obra. Recuperado de: [http://www.yacuanquer-narino.gov.co/informacion\\_general.shtml](http://www.yacuanquer-narino.gov.co/informacion_general.shtml). 17 de noviembre de 2013.

Andrade C., M. G. 2011. Estado de conocimiento de la biodiversidad en Colombia y sus amenazas. Consideraciones para fortalecer la interacción ciencia-política. *Rev. Acad. Colomb. Cienc.*, 35(137), 491-507.

Angilletta, M. J., Niewiarowski, P.E. & Navas, C.A. 2002. The evolution of thermal physiology in ectotherms. *J. Therm. Biol.* 27:249–268.

Angulo, A., Rueda-Almonacid, J.V., Rodríguez-Mahecha, J.V. & La Marca, E. (Eds). Técnicas de Inventario y Monitoreo para los Anfibios de la Región Tropical Andina. Conservación Internacional. Serie Manuales de Campo N° 2. Panamericana Formas e Impresos S.A., Bogotá D.C. 2006. 298 pp.

Arroyo, S., Jerez, A. & Ramírez-Pinilla, M. 2003. Anuros de un bosque de niebla de la cordillera oriental de Colombia. *Caldasia* 25(1): 153-167.

Becker, A., Körner, C., Brun, J-J., Guisan, A. & Tappeiner, U. 2007. Ecological and Land Use Studies Along Elevational Gradients. *Mountain Research and Development* Vol 27 N°1, pp. 58-65.

Bejarano-Bonilla, D., Yate-Rivas, A. & Bernal-Bautista, M. 2007. Diversidad y Distribución de la Fauna Quiróptera en un Transecto Altitudinal en el Departamento del Tolima, Colombia. *Caldasia* 29 (2): 297-308.

Benavides-P, J. & Gómez-R, L.N. 2005. Ecología trófica de la comunidad de anuros presentes en la Laguna Negra Santuario de Flora y Fauna Galeras Departamento de Nariño. Tesis (Biólogo). Programa de Biología, Facultad de Ciencias Naturales y Matemáticas. Universidad de Nariño. San Juan de Pasto.

- Brown, J.H., 2001. Mammals on mountainsides: elevational patterns of diversity. *Glob. Ecol. Biogeogr.* 10, 101–109.
- Cadavid, J., Román-Valencia, C. & Gómez, A. 2005. Composición y estructura de anfibios anuros en un transecto altitudinal de los Andes Centrales de Colombia. *Rev. Mus. Argentino Cienc. Nat.* ns 7(2): 103-118.
- Calderón-Mandujano, R.R. 2011. Estrategia para el manejo de anfibios sujetos a uso en México. En: Sánchez, O., Zamorano, P., Peters, E. & Moya, H. Editores. *Temas sobre conservación de vertebrados silvestres en México*. Primera Edición. 2011.
- Camero, E. & Calderón, A. 2007. Comunidad de mariposas diurnas (Lepidóptera: Rhopalocera) en un gradiente altitudinal del Cañón del río Combeima-Tolima, Colombia. *Acta biol. Colomb.*, Vol. 12 No. 2, 95 – 110.
- Castro, F. Herrera, M.I. & Lynch, J. 2004. *Pristimantis myersi*. In: IUCN 2013. IUCN Red List of Threatened Species. Versión 2013.1. Recuperado de [www.iucnredlist.org](http://www.iucnredlist.org), 11 de septiembre de 2013.
- Castro, F., Herrera, M.I., Ron, S., Coloma, L.A., Lynch, J., Yáñez-Muñoz, M. Nogales, F. & Almeida, D. 2010a. *Pristimantis thymelensis*. In: IUCN 2013. IUCN Red List of Threatened Species. Version 2013.1. Recuperado de [www.iucnredlist.org](http://www.iucnredlist.org), 11 de septiembre de 2013.
- Castro, F., Herrera, M.I., Coloma, L.A., Ron, S., Lynch, J., Cisneros-Heredia, D. & Yáñez-Muñoz, M. 2010b. *Pristimantis w-nigrum*. In: IUCN 2013. IUCN Red List of Threatened Species. Version 2013.1. Recuperado de [www.iucnredlist.org](http://www.iucnredlist.org), 10 de septiembre de 2013.
- Castro, F., Herrera, M.I., Coloma, L.A. Ron, S., Lynch, J., Almeida, D. & Nogales, F. 2010c. *Pristimantis supernatis*. In: IUCN 2013. IUCN Red List of Threatened Species. Version 2013.1. Recuperado de [www.iucnredlist.org](http://www.iucnredlist.org), 12 de septiembre de 2013.
- Chalcraft, D., Williams, J., Smith, M. & Willig, M. 2004. Scale Dependence In The Species-Richness–Productivity Relationship: The Role Of Species Turnover. *Ecology*, 85(10), pp. 2701–2708
- Chaves, M.E. & Santamaría, M. (eds). 2006. Informe Nacional sobre el Avance en el Conocimiento y la Información de la Biodiversidad 1998-2004. Instituto de Investigación en Recursos Biológicos Alexander von Humboldt. Bogotá D.C. Colombia. 2 Tomos. Tomo 2, p.33.
- Chavesorbegozo-O, E. & Daza-R, S.Y. 2005. Aspectos Ecológicos de los hábitos alimenticios y el uso del hábitat de *Proctoporus columbianus* (Reptilia: Gymnophthalmidae) en la zona sur-oriental del Volcán Galeras. Tesis (Biólogo). Programa de Biología, Facultad de Ciencias Naturales y Matemáticas. Universidad de Nariño. San Juan de Pasto.

- Chettri, B., Bhupathy, S. & Acharya, B. 2009. Distribution pattern of reptiles along an eastern Himalayan elevation gradient, India, *Acta Oecolo.*
- Coloma, L.A., Ron, S., Rodriguez, L., Martinez, J.L., Yáñez-Muñoz, M., Almendáriz, A. 2010. *Pristimantis unistrigatus*. In: IUCN 2013. IUCN Red List of Threatened Species. Version 2013.1. Recuperado de [www.iucnredlist.org](http://www.iucnredlist.org), 10 de septiembre de 2013.
- Colwell, R.K. & Coddington, J.A. 1994. Estimating terrestrial biodiversity through extrapolation. *Philos. Trans. R. Soc. Lond. B* 345, 101-118.
- Colwell, R.K. & Lees, D.C., 2000. The mid-domain effect: geometric constraints on the geography of species richness. *Trends Ecol. Evol.* 15(2), 70–76.
- Colwell, R.K., Rahbek, C. & Gotelli, N.J., 2004. The mid-domain effect and species richness patterns: what have we learned so far? *Am. Nat.* 163(3), E1–E23.
- Colwell, R.K., Rahbek, C. & Gotelli, N.J., 2005. The mid-domain effect: there's baby in the bathwater. *Am. Nat.* 166(5), E149–E154.
- Cortez-Fernández, C. 2006. Variación altitudinal de la riqueza y abundancia relativa de los anuros del Parque Nacional y Área Natural de Manejo Integrado Cotapata. *Ecología en Bolivia*, 41(1): 46-64.
- Duellman, W.E. & Trueb, L. *Biology of Amphibians*. 2da. Ed. The Johns Hopkins University Press, Baltimore. 1994. 670 pp.
- Fauth, J., Crother, B. & Slowinski, J. 1989. Elevational Patterns of Species Richness, Evenness, and Abundance of the Costa Rican Leaf-Litter Herpetofauna. *Biotropica*, Vol. 21, No. 2, pp. 178-185.
- Fernández, P. & Díaz, P. 1997. Relación entre variables cuantitativas. *Unidad de Epidemiología Clínica y Bioestadística. Complejo Hospitalario Juan Canalejo. A Coruña. Cad Aten Primaria*. 4: 141-144.
- Flores-Saldaña, M. 2008. Estructura de las comunidades de murciélagos en un gradiente ambiental en la reserva de la biosfera y tierra comunitaria de origen Pilon Lajas, Bolivia. *Mastozoología Neotropical*, 15(2):309-322.
- Frost, D.R. 2013. *Amphibian Species of the World: an Online Reference*. Version 5.6 American Museum of Natural History, New York, USA. Recuperado de Electronic Database accessible at <http://research.amnh.org/herpetology/amphibia/index.html>. 25 de septiembre de 2013.

- Fu, C., Hua, X., Li, J., Chang, Z., Pu, Z. and Chen, J. 2006. Elevational patterns of frog species richness and endemic richness in the Hengduan Mountains, China: geometric constraints, area and climate effects. *Ecography* 29: 919-927.
- Fu, C., Wang, J., Pu, Z., Zhang, S., Chen, H., Zhao, B., Chen, J. & Wu, J. 2007. Elevational gradients of diversity for lizards and snakes in the Hengduan Mountains, China. *Biodiversity and Conservation* 16:707–726.
- Guanca-A, J.A. 2008. Plan de desarrollo Municipal 2008-2011, Municipio de Yacuanquer. Alcaldía Municipal de Yacuanquer.
- Gutiérrez-Lamus, D.L., Serrano, V.H. & Ramírez-Pinilla, M.P. 2004. Composición y Abundancia de Anuros en Dos Tipos de Bosque (Natural y Cultivado) en la Cordillera Oriental Colombiana. *Caldasia* 26(1):245-264.
- Guzmán-Lombo, J. 1989. Caracterización de los Patrones de Conducta Agresiva Territorial del Lagarto de la Sabana de Bogotá *Phenacosaurus heterodermus* (Sauria: Iguanidae). *Caldasia* 16 (76): 112-118.
- Halffter, G. & Ecurra, E. 1992. ¿Qué es la Biodiversidad? En: Halffter, G. 1992. *La Diversidad Biológica de Iberoamérica I. Programa Iberoamericano de Ciencia y Tecnología para el desarrollo*. Instituto de Ecología, A.C. Secretaría de desarrollo social. México.
- Harvey, M.B. & Embert, D. 2008. Review of Bolivian Dipsas (Serpentes: Colubridae), with comments on other south american species. *Herpetological Monographs*, 22, 54–105.
- Harvey, M. 2010. *Dipsas peruana*. In: IUCN 2013. IUCN Red List of Threatened Species. Version 2013.1. Recuperado de [www.iucnredlist.org](http://www.iucnredlist.org) 25 de octubre de 2013.
- Heinen, J.T. 1992. Comparisons of the Leaf Litter Herpetofauna in Abandoned Cacao Plantations and Primary Rain Forest in Costa Rica: Some Implications for Faunal Restoration. *Biotropica* 24(3): 431-439.
- Herrera, A., Olaya, L.A. & Castro, F. 2004. Incidencia de la perturbación antrópica en la diversidad, la riqueza y la distribución de *Eleutherodactylus* (Anura: Leptodactylidae) en un bosque nublado del suroccidente colombiano. *Caldasia* 26(1): 265-274
- Hofer, U., Bersier, L. & Borcard, D. 1999. Spatial Organization of a Herpetofauna on an Elevational Gradient Revealed by Null Model Tests. *Ecology*, 80(3), pp. 976-988
- Hofer, U., Bersier, L. & Borcard, D. 2000. Ecotones and Gradient as Determinants of Herpetofaunal Community Structure in the Primary Forest of Mount Kupe, Cameroon. *Journal of Tropical Ecology*, Vol. 16, No. 4. pp. 517-533.

- Hortal, J., Borges, P.A.V. & Gaspar, C. 2006. Evaluating the performance of species richness estimators: sensitivity to sample grain size. *J. Anim. Ecol.* 75, 274-287.
- Huey, R. B., Hertz, P.E. & Sinervo, B. 2003. Behavioral drive versus behavioral inertia in evolution: A null model approach. *Am. Nat.* 161:357–366.
- Inger, R.F., Shaffer, H.B., Koshy, M. & Bakde, R. 1987. Ecological structure of a herpetological assemblage in south India. *Amphibia-Reptilia*, 8: 189-202.
- Jost, L. 2006. Entropy and diversity. *Oikos* 113:363–375.
- Jost, L. 2007. Partitioning diversity into independent alpha and beta components. *Ecology*, 88(10), pp. 2427–2439.
- Koleff, P. 2005. Conceptos y medidas de la Diversidad Beta pp.19-40 En: Halffter, G., Soberón, J., Koleff, P. & Melic, A. 2005. Sobre Diversidad Biologica: El significado de las Diversidades Alfa, Beta y Gamma. Vol. 4 Zaragoza, España.
- Lawton, J.H. 1999. Are There General Laws in Ecology? *Oikos*, Vol. 84, No. 2. pp. 177-192.
- Lieberman, S.S. 1986. Ecology of the Leaf Litter Herpetofauna of a Neotropical Rain Forest: La Selva, Costa Rica. *Acta Zool. Mex.* (ns) 15.
- Lomolino M.V. 2001. Elevational gradients of species diversity: historical and prospective views. *Global Ecol. Biogeogr.* 10: 3–13.
- Lynch, J.D. 1981. Leptodactylid Frogs of the Genus *Eleutherodactylus* in the Andes of Northern Ecuador and Adjacent Colombia. *Miscellaneous Publication No. 72*. pp. 1-46. *Mus. Nat. Hist. Univ. Kansas*.
- Lynch, J.D. 1998. La Riqueza de la Fauna Anura de los Andes Colombianos. *Innovación y Ciencia* 7(4): 46-51.
- Lynch, J.D. 1999. Ranas pequeñas, la geometría de evolución y la especiación en los andes colombianos. *Rev. Acad. Colomb. Cienc.* 23(86): 143-159.
- Lynch, J.D. & Duellman, W.E. The *Eleutherodactylus* of the Amazonian Slopes of the Ecuadorian Andes (Anura: Leptodactylidae). *Miscellaneous Publication No. 69* *Mus. Nat. Hist. Univ. Kansas*. 1980. 86 pp.
- Lynch, J.D. & Duellman, W.E. Frogs of the genus *Eleutherodactylus* (Anura: Leptodactylidae) in western Ecuador: systematics, ecology, and biogeography. *Spec. Publ. Nat. Hist. Mus. Univ. Kansas* 23. 1997. 236 pp.

- Lynch, J.D. & Suárez-Mayorga, A. 2002. Análisis biogeográfico de los anfibios paramunos. *Caldasia* 24: 471-480.
- Martínez-Baños, V., Pacheco-Florez, V. & Ramírez-Pinilla, M.P. 2011. Abundancia relativa y uso de microhábitat de la rana *Geobatrachus walkeri* (Anura: Strabomantidae) en dos hábitats de la Sierra Nevada de Santa Marta, Colombia. *Rev. Biol. Trop.* Vol. 59 (2): 907-920.
- Martínez, N., Garcia, H., Pulido, L., Ospino, D. & Narvaez, J. 2009. Escarabajos Coprofagos (Coleoptera: Scarabaeinae) de La Vertiente Noroccidental, Sierra Nevada de Santa Marta, Colombia. *Ecology, Behavior and Bionomics. Neotropical Entomology* 38 (6): 708-715.
- McCain, C. M. 2004. The mid-domain effect applied to elevational gradients: species richness of small mammals in Costa Rica. *Journal of Biogeography (J. Biogeogr)* 31:19-31
- McCain, C.M., 2007a. Area and mammalian elevational diversity. *Ecology* 88, 76–86.
- McCain, C.M., 2007b. Could temperature and water availability drive elevational diversity? A global case study for bats. *Glob. Ecol. Biogeogr.* 16, 1–13.
- Mena-Vásquez, P. 2005. La Biodiversidad de los Páramos en el Ecuador. *Biodiversidad de Páramos en el Ecuador*.
- Ministerio del Interior y de Justicia. Dirección de Gestión de Riesgos-DGR Proceso Galeras. 2009. Estudio de vulnerabilidad física y funcional a fenómenos volcánicos en el área de influencia del Volcán Galeras. Informe final. Capítulo V: Sistema Ecológico y Natural. Convenio 1005-08-12-07. Fondo Nacional de Calamidades – Corporación OSSO.
- Mittelbach, G.G., Steiner, C.F., Scheiner, S.M., Gross, K.L., Reynolds, H.L., Waide, R.B., Willig, M.R., Dodson, S.I., Gough, L., 2001. What is the observed relationship between species richness and productivity? *Ecology* 82, 2381–2396.
- Miyata, K. 1983. Notes on *Phenacosaurus heterodermus* in the Sabana de Bogotá, Colombia. *Journal of Herpetology*, 17:102-105.
- Mora-O, D.L., Anganoy-C, M.A., Paz-E, C. & Calderón-L, J.J. 2010. Variación poblacional de *Riama columbiana* (Sauria:Gymnophthalmidae) de los alrededores de San Juan de Pasto, Nariño (Colombia). *Novedades Colombianas* 10(1).
- Moreno, C. *Métodos para medir la biodiversidad*. M&T–Manuales y Tesis SEA, vol. 1. Zaragoza, 2001. 84 pp.
- Moreno-Arias, R.A. & Urbina-Cardona, J.N. 2012. Population Dynamics of the Andean Lizard *Anolis heterodermus*: Fast-slow Demographic Strategies in Fragmented Scrubland Landscapes. *Biotropica* 0(0): 1-9.

- Mueses-Cisneros, J.J. 2005. Fauna anfibia del Valle de Sibundoy, Putumayo-Colombia. *Caldasia* 27(2):229-242.
- Naniwadekar, R. & Vasudevan, K. 2007. Patterns in diversity of anurans along an elevational gradient in the Western Ghats, South India. *Journal of Biogeography (J. Biogeogr.)* 34, 842–853
- Narváez, I. & Narváez, C. 2002. Evaluación ecológica de anuros en las lagunas de Telpis y Mejía, Santuario de flora y fauna Galeras, departamento de Nariño. Tesis (Biólogo). Programa de Biología, Facultad de Ciencias Naturales y Matemáticas. Universidad de Nariño. San Juan de Pasto.
- Navas, C.A. 1997. Thermal extremes at high elevations in the Andes: Physiological ecology of frogs. *J. therm. Biol.* Vol. 22. No.6. pp. 467-477.
- Navas, C.A. 2003. Herpetological diversity along Andean elevational gradients: links with physiological ecology and evolutionary physiology. *Comparative Biochemistry and Physiology Part A* 133:469-485
- Navas, C.A. 2006. Patterns of distribution of anurans in high Andean tropical elevations: Insights from integrating biogeography and evolutionary physiology. *Integrative and Comparative Biology*, volume 46, number 1, pp. 82–91.
- Navas, C.A. & Otani, L. 2007. Physiology, environmental change and anuran conservation. Review Article. *Phyllomedusa* 6(2): 83-103.
- OpEPA. 2011. Organización para la Educación y Protección Ambiental. Bogotá D.C Colombia. Recuperado de <http://www.opepa.org> 15 de noviembre de 2012
- Ortiz, A. & Morales, M. 2000. Evaluación ecológica rápida de la herpetofauna en el Parque Nacional Llanganates. Pp. 109-121. En: Vázquez, M.A., M. Larrea y L. Suárez (Eds.). Biodiversidad en el Parque Nacional Llanganates: un reporte de las evaluaciones ecológicas y socioeconómicas rápidas. EcoCiencia, Ministerio del Ambiente, Herbario Nacional del Ecuador, Museo Ecuatoriano de Ciencias Naturales e Instituto Internacional de Reconstrucción Rural. Quito.
- Páez, V., Arredondo, J., López, C., Martínez, L., Molina, C. & Restrepo, A. 2006. Reptiles de Colombia, diversidad y estrado de Conocimiento. Tomo II. En: Chaves, M.E. & Santamaría, M. eds. Informe Nacional sobre el Avance en el Conocimiento y la información de la Biodiversidad 1998-2004. Instituto de Investigaciones Biológicas Alexander Von Humboldt, Bogotá.
- Palacios, M. & Constantino, L. 2006. Diversidad de Lepidópteros Rhopalocera en un Gradiente Altitudinal en la Reserva Natural El Pangan, Nariño, Colombia. *Boletín Científico - Centro de Museos. Museo de Historia Natural* Vol. 10, enero - diciembre, 2006, pages. 258-278.

- Parques Nacionales Naturales de Colombia (2011). Bosque Andino o niebla y Paramos. Recuperado de [www.parquesnacionales.gov.co/](http://www.parquesnacionales.gov.co/) 15 de noviembre de 2012.
- Patterson, B.D., Pacheco, V. & Solari, S. (1996) Distribution of bats along an elevational gradient in the Andes of south-eastern Peru. *Journal of Zoology, London*, 240, 637–658.
- Peters, J.A. & Donoso-Barros, R. 1970. Catalogue of neotropical squamata. Part II. Lizards and Amphisbaenians. Smithsonian Institution Press United States National Museum bulletin 297.
- Ramírez-Pinilla, M.P., Osorno-Muñoz, M., Rueda, J.V. Amézquita, A., Ardila-Robayo, M.C. 2004. *Gastrotheca argenteovirens*. In: IUCN 2013. IUCN Red List of Threatened Species. Version 2013.1. Recuperado de [www.iucnredlist.org](http://www.iucnredlist.org) 25 de septiembre de 2013.
- Ramírez, S., Meza-Ramos, P., Yáñez-Muñoz, M. Reyes, J. 2009. Asociaciones interespecíficas de anuros en cuatro gradientes altitudinales de la Reserva Biológica Tapichalaca, Zamora-Chinchipe, Ecuador. *Boletín Técnico* 8, Serie Zoológica4-5: 35-49
- Rahbek, C. 1997. The Relationship among Area, Elevation, and Regional Species Richness in Neotropical Birds. *The American Naturalist*, Vol. 149, No. 5. pp. 875-902.
- Rickart, E., Lawrence, R. & Utzurrum, R. 1991. Distribution and ecology of small mammals along an elevational transect in southeastern Luzon, Philippines. *J. Mamm.* 72(3): 458-469.
- Rincón, F. & Castro, F. 1998. Aspectos ecológicos de una comunidad de *Eleutherodactylus* (Anura: Leptodactylidae) en un bosque de niebla del occidente de Colombia. *Caldasia* 20(2): 193-202.
- Sánchez-Arboleda, L. A. 2009. El Cambio y el Progreso de Consacá, Continua Junio 2009 – Diciembre 2011. Plan de Desarrollo Municipal Consacá 2009-2011. Alcaldía Municipal de Consacá.
- Sanders, N.J., Moss, J., Wagner, D., 2003. Patterns of ant species richness along elevational gradients in an arid ecosystem. *Glob. Ecol. Biogeogr.* 10, 77–100.
- SIB, 2013. Sistema de información sobre biodiversidad de Colombia. Recuperado de <http://www.sibcolombia.net/web/sib/cifras> 25 de septiembre de 2013.
- Siqueira, C.C., Vrcibradic, D., Almeida-Gomes, M., Borges-Junior, V.N.T., Almeida-Santos, P., Almeida-Santos, M., Ariani, C.V., Guedes, D.M., Goyannes-Araújo, P., Dorigo, T.A., Van Sluys, M. & Rocha, C.F. 2009. Density and richness of leaf litter frogs (Amphibia: Anura) of a Atlantic Rainforest area in the Serra dos Órgãos, Rio de Janeiro State, Brazil. *Zoologia* 26(1): 97-102.
- Suárez-Mayorga, A.M. 1999. Lista preliminar de la fauna Amphibia presente en el transecto la Montañita-Alto de Gabinete, Caquetá, Colombia. *Rev. Acad. Colomb. Cienc.* Volumen XXIII.

- Suárez, H. & Ramírez, M. 2004. Anuros del gradiente altitudinal de la estación experimental y demostrativa El Rasgón (Santander, Colombia). *Caldasia* 26(2): 395-416
- Tobón, C. 2009. Los bosques andinos y el agua. Serie investigación y sistematización #4. Programa Regional ECOBONA – INTERCOOPERATION, CONDESAN. Quito
- Torres-Carvajal, O. 2000. Ecuadorian Lizards of the Genus *Stenocercus* (Squamata: Tropiduridae). Natural History Museum The University of Kansas. Number 15:1-38.
- Torres Carvajal, O. 2007. A taxonomic revisión of south american *Stenocercus* (Squamata: Iguania) lizards. *Herpetological monographs*, 21: 76-178.
- Torres Carvajal, O., Ayala-Varela, F. & Carvajal-Campos, A. 2010. Reptilia, Squamata, Iguanidae, *Anolis heterodermus* Duméril, 1851: distribution extension, first record for Ecuador and notes on color variation. *Check List* 6:189-190.
- Uetz, P. & Hallerman, J. (eds). 2013. The Reptile Database. <http://www.reptile-database.org>. Web pages and scripting Jiri Hosek. Last update 8 December 2013. Consultado el 9 de diciembre de 2013.
- Urbina-Cardona, J. N. & Reynoso, V.H. 2005. Recambio de Anfibios y Reptiles en el Gradiente Potrero-Borde-Interior en Los Tuxtlas, Veracruz, México. Vol. 4 pp. 191-207. En: Halffter, G., Soberón, J., Koleff, P. & Melic, A. 2005. Sobre Diversidad Biologica: El significado de las Diversidades Alfa, Beta y Gamma.
- Yáñez-Muñoz, M., Almeida, D., Castro, F., Coloma, L.A., Ron, S. & Bolívar, W. 2010. *Pristimantis buckleyi*. In: IUCN 2013. IUCN Red List of Threatened Species. Version 2013.1. Recuperad de [www.iucnredlist.org](http://www.iucnredlist.org) 10 de septiembre de 2013.

## ANEXO A. Especies de Anuros y Reptiles identificadas en el estudio

A continuación se presentan los datos de campo de algunas especies encontradas en el estudio con sus respectivas fotografías y más información sobre su historia natural y distribución.

*Pristimantis unistrigatus* Günther 1859, fue la especie que se encontró en todo el gradiente altitudinal y en general fue la más abundante con 63 individuos a lo largo del gradiente. Esta especie se encuentra en los valles andinos del sur de Colombia a Ecuador Central, su rango altitudinal es de 2200-3400m (Coloma *et al.* 2010), aunque en este estudio fue registrada desde los 1800m hasta 3300m. La especie se encuentra en las regiones boscosas en régimen climático templado húmedo y templado subhúmedas (Lynch & Duellman, 1997). Normalmente se encuentra en los pastizales y cultivos en valles interandinos (Lynch, 1981), aunque también se ha reportado la presencia en zanjas, arbustos, bordes de bosque y áreas urbanas (Mueses-Cisneros, 2005). Durante el día se observan individuos debajo de las rocas, terrones de tierra, madera, ladrilloso debajo de la cubierta de la hierba (Lynch & Duellman, 1980); por la noche, los machos están activamente llamando en baja vegetación herbácea a un metro del suelo aproximadamente. Puede ser encontrado en ambientes fuertemente perturbados (Coloma *et al.* 2010). En este estudio se encontraron principalmente en hojarasca, hojas de helechos y Bromelias desde el nivel del suelo hasta los 50cm de altura, la actividad en la cual se detectó más individuos fue posadas, seguido de cantando y algunas saltando; las horas de mayor actividad fueron a partir de las 20:00 horas. Según Coloma *et al.* (2010) y la IUCN, esta especie está en el nivel Least Concern (Menor preocupación).



*P. unistrigatus* NMP 034. Vista dorsal



*P. unistrigatus* NMP 034. Vista ventral

*Pristimantis w-nigrum* Boettger 1892, fue la segunda especie con mayor número de individuos a lo largo del gradiente, pero solo se detectó en las tres zonas más bajas, como son desde 1800m hasta 2300m. Esta especie suele encontrarse en bosque montano bajo y nublado, en altitudes desde 800m hasta 3300m, en ambas vertientes del Pacífico y Amazónica de los Andes de Colombia y Ecuador, es la *Pristimantis* más extendida en los Andes colombianos (Castro *et al.* 2010b). Está presente en áreas deforestadas y perturbadas, muy cerca de la parte plana en potreros, claros y en borde de bosques cerca o no a fuentes de agua (Mueses-Cisneros, 2005), en el bosque nublado y hábitats de subpáramo, además es tolerante a la perturbación del hábitat, por lo que también se encuentra en el interior de bosque maduro, pero no es muy común; se posa sobre la

vegetación desde el nivel del suelo hasta 3m de altura, durante el día se puede encontrar en la hojarasca, es abundante en Colombia, a pesar de que ha disminuido en algunas localidades de Ecuador (Castro *et al.* 2010b). En este estudio se registraron en hojarasca, en la tierra o sobre rocas cerca a las quebradas, su principal actividad fue posada y algunas saltando, su mayor hora de actividad fue después de las 18:00 horas, aunque se detectaron varias en horas de la mañana (10:00h) y en la tarde (14:00h). Según Castro *et al.* (2010b) esta especie se encuentra en el nivel Least Concern (Menor preocupación).



*P. w-nigrum* NMP 039 Vista dorsal



*P. w-nigrum* NMP 013 Vista ventral

*Pristimantis thymelensis* Lynch 1972, de esta especie solo se registró un individuo en la zona más alta del estudio a 3310m, estaba posado sobre tierra a 60cm del suelo y fue visto a las 15:30h. Esta especie es conocida en el Volcán Galeras (Nariño) y Páramos del sur de Colombia y norte de Ecuador (Carchi, Imbabura y Napo) en un rango altitudinal de 3220-4150m y según la IUCN esta especie esta en el nivel Least Concern (menor preocupación) (Castro *et al.* 2010a).

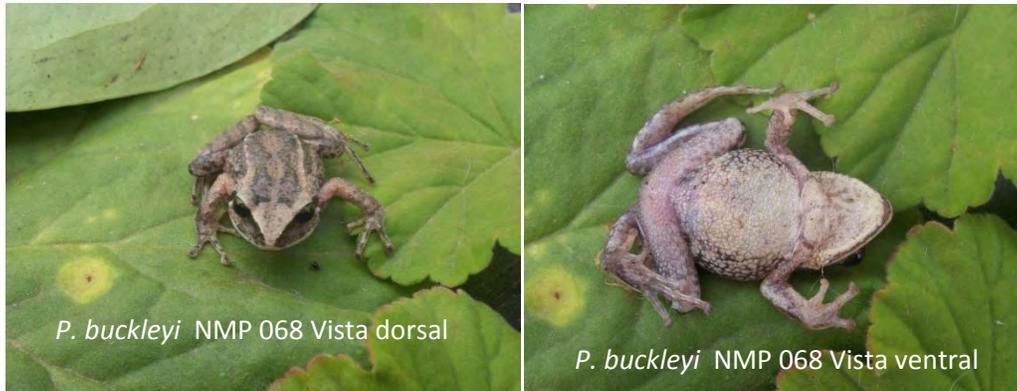


*P. thymelensis* NMP 069 Vista dorsal



*P. thymelensis* NMP 069 Vista ventral

*Pristimantis buckleyi* Boulenger 1882, esta especie únicamente se registró en la zona VII a 3310m con un individuo, el cual estaba posado sobre un helecho a 15cm del suelo, fue visto a las 20:25h. Se ha encontrado en los andes colombianos y ecuatorianos en un rango altitudinal entre 2500-3700m; según la IUCN esta especie esta en el nivel Least Concern (menor preocupación) (Yáñez-Muñoz *et al.* 2010).



*Pristimantis myersi* Goin & Cochran 1963, esta especie se encontró en la zona más alta del gradiente altitudinal a una altitud de 3310m y se registraron nueve individuos, algunos estaban cantando cuando fueron vistos y otros solo posados en hojarasca. Se encuentra en muchas localidades de las cordilleras colombianas, en sectores con rangos altitudinales entre 2900-3275m y en vegetación de páramo, subpáramo y bosques altoandinos, además según la IUCN esta especie esta en el nivel Least Concern (menor preocupación) (Castro *et al.* 2004).



*Pristimantis supernatis* Lynch 1979, esta especie presentó un solo individuo en la zona III a 2364m, se encontraba posado sobre una hoja a 30cm del suelo, fue detectado a las 22:20h. Esta especie se puede encontrar desde el sur de la Cordillera Central, desde el Nevado de Huila-Colombia al extremo norte de Ecuador entre 2280-3500m; esta especie se encuentra en el bosque nuboso, sub-páramo y las zonas de páramo, se ha encontrado debajo de rocas, troncos, o en la hierba profunda (Castro *et al.* 2010c). También se ha descrito su asociación a los arroyos, bromelias, hojarasca y la vegetación de hasta 3m de altura (Mueses-Cisneros, 2005). Se presume que su reproducción es por desarrollo directo, pero el sitio de deposición del huevo no se conoce. Ocurre en bosques primarios y secundarios, por otro lado, esta especie se encuentra en estado Vulnerable (VU) según la IUCN (Castro *et al.* 2010c).



*Gastrotheca argenteovirens* Boettger 1892, esta especie se encontró en las dos zonas más bajas del gradiente altitudinal (entre 1820m y 1940m), su abundancia fue baja detectando ocho individuos. Es conocida desde la parte sur de la Cordillera Occidental y la parte central y sur de los flancos occidentales de los departamentos de Valle del Cauca Cordillera Central y el Macizo Central, en Cauca, Nariño y en Colombia. Se ha registrado desde 1760-3050m. Se encuentra en la vegetación en el interior del bosque y al lado de los arroyos en los bosques andinos, también habita en áreas abiertas, pastizales y áreas perturbadas. Los huevos son criados en una bolsa en la parte posterior de la hembra y los renacuajos son transportados a las piscinas pequeñas donde los renacuajos se desarrollan más (Ramírez *et al.* 2004). En este estudio se encontraron en ramas y plantas de agave desde los 50cm hasta los 2.50m de altura, su principal actividad fue cantando y algunas posadas, las horas de mayor actividad fueron desde las 21:00h. De acuerdo con Ramírez *et al.* (2004), en la lista de IUCN, la especie se encuentra en nivel Least Concern (Menor preocupación).



*Pristimantis sp 1*, se encontraron cinco individuos de esta especie, todos en la zona V a 2850m y 2890m, uno de los ejemplares fue visto posado en hojarasca y los demás en hojas de bromelia a unos 40cm del suelo. La hora en la que fueron vistos fue entre las 18:30 a 21:10 horas.



*Pristimantis* sp 2, se registraron dos capturas, ambas en la zona V a 2890m, uno de los ejemplares fue visto posado en el suelo a las 20:35h y el otro individuo estaba saltando sobre una bromelia a unos 40cm del suelo y fue vista a las 19:46h.



*Pristimantis* sp 3, se encontraron dos individuos en la zona V a 2860m, de los cuales uno se registro cantando sobre un tronco a 10cm del suelo a las 18:35h y el otro ejemplar estaba saltando sobre hojarasca a la 20:55h.



*Anolis heterodermus* Duméril 1851, se encontraron dos individuos, uno en la zona II a 2050m, corriendo a través de hojarasca sobre la quebrada, vista a las 18:10h y el otro en la zona III a 2364m en medio de la hojarasca en el interior de bosque a unos 2m de un tanque de agua y a las 17:30h. Se distribuye en el Noreste de los Andes de Venezuela, Colombia y Ecuador (Miyata, 1983). En Colombia se encuentra entre 1800-3750m (Dunn 1944 citado por Moreno-Arias & Urbina-Cardona, 2012) y en el Ecuador se encuentra entre 2041-2480m, habita en bosques secundarios, en el límite de pastizales (Torres-Carvajal *et al.* 2010). Esta especie es diurna, el forrajeo es activo. Utiliza el estrato bajo arbustivo, encontrándose en arbustos y lianas hasta los 5m de altura. (Miyata, 1983; Torres-Carvajal *et al.* 2010). Esta lagartija para comunicarse con sus congéneres presenta varios movimientos de su cuerpo, mueve la cabeza de arriba-abajo y lateralmente, despliega el pliegue gular, y hace flexiones pectorales (Guzmán-Lombo, 1989). Las estrategias anti depredatorias son el camuflaje y botarse de la percha y esconderse en vegetación densa (Miyata, 1983).



*A. heterodermus* NMP021  
Vista dorsal



*A. heterodermus* NMP021  
Vista ventral

*Stenocercus angel* Torres-Carvajal 2000, solo se encontró un ejemplar juvenil en la zona VII a una altura de 3310m, ubicado debajo de una roca posado, muy cerca a los potreros, y fue visto a las 12:35h. Esta especie se encuentra en los Andes del norte entre 0°30'N -1°30'N, es conocida en alturas entre 2400-3560m en el sureste de Colombia en los departamentos de Cauca y Nariño (Torres-Carvajal, 2007) y en la Provincia del Carchi al Norte del Ecuador (Torres-Carvajal, 2000); en Ecuador se la ha encontrado asoleándose en la base de las bromelias espinosas (*Puya*), las cuales también son utilizadas como refugio (Torres-Carvajal, 2007).



*S. angel* NMP 070 Vista dorsal



*S. angel* NMP 070 Vista ventral

*Riama sp.*, se registraron cuatro individuos, uno en la zona IV a 2600m, enterrada sobre un muro de tierra a 15cm del suelo, fue vista a las 17:45h. Los otros tres ejemplares se encontraron en la zona VI a 3120m, las cuales estaban enterradas y fueron vistas a las 9:10h.



*Riama sp* NMP 050 Vista dorsal



*Riama sp* NMP 050 Vista ventral

*Dipsas peruana* Boettger 1898, se encontró un solo individuo en la zona II a una altura de 1940m y según Harvey & Embert (2008), esta especie se encuentra en los bosques húmedos a lo largo de las laderas orientales de los Andes (probablemente entre 500 y 3000m) y las tierras bajas adyacentes de Aricagua en los Andes de Mérida, Venezuela a lo largo de la vertiente oriental a través de Colombia, Ecuador y Perú a Bolivia. Esta especie relativamente común y no parece estar disminuyendo en localidades donde el hábitat original no ha sido perturbado (Harvey, 2010). Poco se sabe sobre la historia natural de esta especie, pero al parecer habita en una amplia gama ecológica, se encuentra en las selvas del piedemonte a elevaciones relativamente altas, como las ruinas de Machu Pichu, 2400m (Harvey & Embert, 2008). Esta especie se encontró en el suelo (tierra), enroscada en medio del camino, a unos 10m de una fuente de agua, pero en un instante empezó a serpentear y esto ocurrió alrededor de las 23:00h. Según Harvey (2010), en la lista de IUCN, la especie se encuentra en nivel Least Concern (Menor preocupación).

*D. peruana* NMP 024



*Liophis epinephelus* Cope 1862, solo se registro un individuo en la zona II a 2090m, la cual estaba muerta en el suelo, fue encontrada a las 8:10h.

*L. epinephelus* NMP 017



ANEXO B. Datos de abundancia de la herpetofauna por cuadrante y por día de muestreo en cada zona altitudinal.

		Altitud						
DIAS	CUADRANTE	1800	2050	2300	2550	2800	3050	3300
Día 1	1	1	1	1	1		1	1
	2		2					1
	3					1		
	4							
	5		2					
	6						2	
	7				1	1		
	8							
Día 2	1	2	2					
	2		2	1				
	3		1					2
	4		1					
	5	1	1				1	1
	6					1	2	2
	7							
	8				1			1
Día 3	1				1	1	1	
	2	1			1		1	1
	3		1					
	4		1	1				1
	5	1	1	1				
	6	1						1
	7							1
	8							
Día 4	1							
	2							
	3		4					2
	4				1	1		1
	5						1	
	6							
	7							
	8							1

ANEXO C. Número de individuos y número de especies (en paréntesis) observadas por búsqueda libre, cuadrantes y el total de número de especies observadas (ambos métodos) en las siete zonas del gradiente altitudinal.

Localidad	Altitud (m)	Búsqueda libre	Cuadrantes	Especies observadas
Nariño, Consacá, Vereda San Rafael	1800	14 (2)	7 (3)	3
Nariño, Consacá, Vereda El Tejar	2050	47 (6)	19 (1)	6
Nariño, Consacá, Vereda Culantro	2300	8 (3)	4 (3)	4
Nariño, Yacuanquer, Vereda Chapacual	2550	6 (1)	6 (2)	2
Nariño, Consacá, Vereda Churupamba	2800	9 (2)	5 (3)	4
Nariño, Yacuanquer, Vereda San Felipe	3050	5 (2)	9 (2)	2
Nariño, Yacuanquer, Vereda San José de Córdoba	3300	7 (2)	16 (4)	5
Total observadas		96 (10)	66 (11)	15