

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO**  
**FACULTAD DE CIENCIAS**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE BIOLOGÍA**



---

**FACTORES AMBIENTALES QUE DETERMINAN LA RIQUEZA Y  
ABUNDANCIA DE LOS ANFIBIOS (ANURA) EN LA GRADIENTE DE  
ELEVACIÓN DEL PARQUE NACIONAL DEL MANU – PAUCARTAMBO -  
CUSCO**

---

**TESIS PARA OPTAR AL TÍTULO  
PROFESIONAL DE BIÓLOGO**

**PRESENTADO POR:**

Bach. Maria Isabel Diaz Huaman

**ASESORA:**

Blga. Mary Norma Jara Moscoso

**CO-ASESOR:**

Ph.D. Alessandro Catenazzi

**TESIS FINANCIADA POR EL PROGRAMA “YACHAYNINCHIS  
WIÑARINANPAQ”**

Cusco - Perú

2022

Dedico este trabajo a mi amada madre.

## **AGRADECIMIENTOS**

A la Universidad Nacional San Antonio Abad del Cusco, a los docentes de la Escuela Profesional de Biología por impartir sus conocimientos, especialmente a mi asesora Blga. Mary Norma Jara Moscoso, por su guía en la elaboración de este trabajo de tesis.

Al Dr. Alessandro Catenazzi por la oportunidad de aprender de su experiencia, conducirme en el camino de la investigación y haberme brindado su confianza y su amistad.

Al Programa de Fortalecimiento Yachayninchis Wiñarinampaq de la Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco, por el financiamiento económico de la presente investigación.

A la Asociación para la Conservación de la Cuenca Amazónica por la ayuda logística para el desarrollo del presente estudio. Así mismo, a la Asociación Perú Verde en especial a su director Daniel Blanco.

Al Parque Nacional del Manu por los permisos de investigación.

Finalmente, a mis amigos, investigadores Alex Ttito, Luis Mamani, Paul Santos y Karina Huaman, gracias por sus comentarios y ayuda desinteresada que me permitieron mejorar la presentación final de esta tesis.

## INDICE

RESUMEN.....	i
INTRODUCCIÓN .....	ii
FORMULACIÓN DEL PROBLEMA .....	iv
OBJETIVOS.....	v
HIPÓTESIS .....	vi
IDENTIFICACIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE VARIABLES .....	vi
JUSTIFICACIÓN.....	vii

### CAPÍTULO I

#### GENERALIDADES

1.1. ANTECEDENTES .....	1
1.1.1. Antecedentes Internacionales .....	1
1.1.2. Antecedentes Nacionales .....	3
1.1.3. Antecedentes Locales .....	4
1.2. MARCO TEÓRICO .....	6
1.2.1. Anfibios terrestres.....	6
1.2.2. Relación entre anfibios y factores ambientales.....	6
1.2.3. Patrones de riqueza .....	8
1.2.4. Andes Tropicales .....	9
1.2.5. Bosque nublado.....	9

### CAPITULO II

#### MATERIALES Y MÉTODOS

2.1. ÁREA DE ESTUDIO .....	10
2.2. MATERIALES .....	13
2.3. MÉTODOS .....	13

2.3.1. Trabajo de campo.....	13
2.3.1.1. Metodología de muestreo .....	13
2.3.1.2. Identificación de especies .....	16
2.3.1.3. Análisis de muestreo .....	16
2.3.1.4. Evaluación de factores ambientales .....	18
2.3.2. Trabajo de gabinete.....	19
2.3.2.1. Análisis de suelos .....	19
2.3.2.2. Sistematización de datos .....	19
2.4. ANÁLISIS DE DATOS.....	20
2.4.1. Variación de la composición y estructura de anuros .....	20
2.4.2. Variación de factores ambientales a través del gradiente altitudinal.....	22
2.4.3. Relación entre la riqueza, abundancia y factores ambientales.....	24

### CAPITULO III

#### RESULTADOS Y DISCUSION

3.1. RESULTADOS .....	26
3.1.1. Determinación de especies de anuros .....	37
3.1.2. Variación de la composición y estructura de anuros a través del gradiente altitudinal .....	28
3.1.2.1. Riqueza y abundancia de especies .....	28
3.1.2.2. Curvas rango - abundancia.....	30
3.1.2.3. Riqueza y abundancia a través del gradiente altitudinal .....	33
3.1.2.4. Diversidad alfa .....	34
3.1.2.5. Diversidad beta.....	35
3.1.3. Variación de factores ambientales a través del gradiente altitudinal.....	37
3.1.3.1. Análisis de componentes principales (ACP).....	40
3.1.4. Relación entre la riqueza, abundancia y factores ambientales .....	43

3.1.4.1. Factores ambientales que determinan la riqueza.....	43
3.1.4.2. Factores ambientales que determinan la abundancia.....	44
3.2. DISCUSIÓN .....	45
CONCLUSIONES .....	48
RECOMENDACIONES .....	49
BIBLIOGRAFÍA CONSULTADA.....	50
ANEXOS.....	59

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1</b> Cuatro principales patrones de riqueza en gradientes altitudinales de montañas en todo el mundo.....	8
<b>Figura 2</b> Ubicación del área de estudio en el valle de Kosñipata, provincia Paucartambo, región Cusco, Perú.....	11
<b>Figura 3</b> Diagrama de diseño de muestreo. ....	14
<b>Figura 4</b> Curva de acumulación por el método no paramétrico Chao 1 .....	17
<b>Figura 5</b> Curva de acumulación por el método no paramétrico Bootstrap .....	17
<b>Figura 6</b> Representación gráfica de la estimación de la pendiente .....	19
<b>Figura 7</b> Número de géneros por familia de anuros .....	28
<b>Figura 8</b> Número de especies por género de anuros .....	29
<b>Figura 9.</b> Abundancia de las especies registradas, mostrando en los índices de las barras el valor de la abundancia relativa. ....	30
<b>Figura 10</b> Lista de especies con respecto al rango altitudinal que ocupan en el valle de Kosñipata. ....	31
<b>Figura 11</b> Curvas de rango donde se muestra el cambio de composición de especies por rango altitudinal .....	32
<b>Figura 12</b> Número de especies registradas por rango altitudinal.....	33
<b>Figura 13</b> Número de anuros registrados por rango altitudinal. ....	33
<b>Figura 14</b> Índices de diversidad alfa.....	35
<b>Figura 15</b> Clúster de similitud entre los rangos altitudinales con valores del índice de Jaccard .....	36
<b>Figura 16</b> Diagramas de cajas de los factores ambientales evaluadas: A. Cobertura dosel (%), B. Cobertura de musgos (%), C. Cobertura de herbáceas (%), D. Cobertura de arbustos (%), E. Sotobosque (%), F. Número de árboles con DAP >10cm. ....	38
<b>Figura 17</b> Diagramas de cajas de los factores ambientales evaluadas: G. Temperatura ambiental (°C), H. Humedad relativa ambiental (%), I. Pendiente (°), J. Profundidad hojarasca (cm), K. pH del suelo, L. Humedad del suelo (%), M. % nitrógeno del suelo y N. %carbono de suelo .....	39
<b>Figura 18</b> Análisis de componentes principales (ACP) con los resultados de los dos primeros componentes. ....	41
<b>Figura 19</b> Matriz de correlación entre factores ambientales,.....	42

## INDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1</b> Coordenadas decimales de las 96 parcelas muestreadas en la temporada lluviosa en el Valle de Kosñipata. ....	15
<b>Tabla 2</b> Lista de especies de anuros y su estado de conservación presentes en el valle de Kosñipata identificados en el estudio. ....	27
<b>Tabla 3</b> Riqueza, abundancia y abundancia relativa por familia, géneros y especie de anuros presentes en el valle de Kosñipata .....	29
<b>Tabla 4</b> Índices de diversidad alfa por rango altitudinal.....	34
<b>Tabla 5</b> Similitud de la composición de especies entre cada rango altitudinal, índice de Jaccard .....	35
<b>Tabla 6</b> Especies de anuros registradas en el valle de Kosñipata categorizadas por los rangos altitudinales .....	36
<b>Tabla 7</b> Factores de carga de PC1 y PC2 del análisis de componentes principales, autovalores y porcentajes de explicación.....	40
<b>Tabla 8</b> Modelos lineales generalizados utilizados para analizar la influencia de los factores ambientales en la riqueza de anuros. ....	43
<b>Tabla 9</b> Modelos lineales generalizados utilizados para analizar la influencia de los factores ambientales en la abundancia de anuros .....	44

## RESUMEN

Las vertientes orientales de los Andes Tropicales presentan una alta riqueza y abundancia de especies de anfibios: sin embargo, se han llevado a cabo muy pocos estudios que traten de explicar los patrones y factores que influyen en la distribución de las comunidades de anuros terrestres. En el presente estudio se determinaron los factores ambientales que influyen en la riqueza y abundancia de anuros terrestres a través del gradiente de elevación en el valle de Kosñipata, en la provincia de Paucartambo, región del Cusco, Perú. Se realizaron dos salidas de campo durante la temporada de lluvias; entre marzo y abril del 2018 y noviembre y diciembre del 2019. Se evaluó la variación de la riqueza y la abundancia de anuros en 96 parcelas de 10 x 10 m a lo largo del gradiente de 1300 m hasta 3700 m de altitud. La identificación de las especies, se realizó en campo en base a guías especializadas y ayuda del especialista herpetólogo Dr. Alessandro Catenazzi. Los individuos capturados luego de ser medidos y fotografiados fueron liberados. Se midieron 14 factores ambientales (pendiente del terreno, temperatura ambiental, humedad ambiental, cobertura de dosel, profundidad de hojarasca, densidad de sotobosque, cobertura de musgos terrestres, cobertura de herbáceas, cobertura de arbustos, número de árboles con un diámetro a la altura del pecho (DAP) mayor de 10 cm, pH del suelo, humedad del suelo, Carbono y Nitrógeno del suelo) a través del gradiente altitudinal. Se utilizó un análisis de modelo lineal generalizado (GLM) con una función de enlace de distribución tipo Poisson para determinar los factores ambientales que influyen en la riqueza y abundancia de anuros. Se capturaron 268 individuos pertenecientes a 20 especies de anuros que corresponden a siete géneros: *Rhinella*, *Gastrotheca*, *Bryophryne*, *Noblella*, *Psychrophrynella*, *Oreobates*, *Pristimantis* y tres familias: Bufonidae, Hemiphractidae y Strabomantidae. Se registraron seis especies nuevas de anuros para la ciencia. Los resultados muestran que la riqueza posee un patrón decreciente con respecto a la elevación altitudinal; mientras la abundancia aumenta con la altitud. Los modelos lineales generalizados destacaron que el pH y nitrógeno del suelo son los factores ambientales que explican mejor la variabilidad de la riqueza; y la cobertura terrestre del musgo y cobertura de dosel explican mejor la abundancia.

**Palabras clave:** anuros terrestres, Andes Tropicales, patrones de distribución, gradiente altitudinal

## INTRODUCCIÓN

Por décadas se han propuesto explicaciones a la variación de la composición y distribución de diferentes formas de vida basándose en los efectos de los factores abióticos o bióticos (Brehm, Colwell, & Kluge, 2007; Kluge & Kessler, 2011; Terborgh, 1977). Uno de estos patrones lo proponen tempranamente Von Humbolt en el monte el Chimborazo en los Andes ecuatorianos (1849) y Wallace en Indonesia (1876, 1878); donde ambos llegaron a la conclusión que la riqueza de especies disminuye de altitudes bajas a altas (Lomolino, 2001). Más adelante, John Terborgh (1977) detalló como la diversidad de aves en la cordillera de Vilcabamba en Perú respondía además del gradiente altitudinal, a la estructura del hábitat (Terborgh, 1977). Según Kluge & Kessler (2011) la riqueza de epifitas en Costa Rica está determinada por la elevación, factores climáticos y el tipo de hábitat. No obstante, los estudios que pretenden identificar los mejores factores explicativos que regulan la diversidad de especies en gradientes de elevación, se han centrado en pocos factores como, ejm. el clima, la topografía y factores históricos (Grytnes & Vetaas, 2002; Kluge & Kessler, 2011).

Los patrones de distribución de anfibios comúnmente observados son: la disminución de la riqueza con la elevación creciente (Fauth, Crother, & Slowinski, 1989; Villacampa *et al.*, 2019) y un pico máximo de riqueza en elevaciones intermedias (Catenazzi, Lehr, & von May, 2013; Catenazzi & Rodríguez, 2001). Los anfibios son considerados como organismos modelo para estudiar los factores que determinan su riqueza y abundancia a lo largo de gradientes de elevación porque su distribución está influenciada por variables abióticas (Mc Diarmid, 2014). Son organismos ectotérmicos con una movilidad reducida y un ciclo de vida fuertemente condicionado por el agua (Thorson, 2011). La temperatura afecta su tasa metabólica, su locomoción, su digestión e incluso se relaciona al balance hídrico (Vitt & Caldwell, 2014). Adicionalmente, la piel permeable de los anfibios funciona como principal órgano de respiración y debe mantenerse húmeda para que se produzca el intercambio gaseoso (Spotila & Berman, 1976; Wygoda, 1984). En consecuencia, las influencias de ciertos factores abióticos condicionan la distribución y estructura de la comunidad de anfibios. Sin embargo, todavía hay una brecha en nuestra comprensión sobre los factores que determinan la estructura y composición de

comunidades de anfibios en gradientes altitudinales como lo presenta los Andes Tropicales.

Los Andes Tropicales son un escenario ideal para evaluar los patrones macroecológicos y los mecanismos involucrados en los patrones de biodiversidad (Novillo & Ojeda, 2014). Esta región representa el mayor centro de biodiversidad del mundo, debido a la dinámica de los factores históricos y climáticos asociados al levantamiento andino; lo que ha resultado en una diversidad enorme de topografías, climas y hábitats que contribuyen a la alta diversidad y endemismos de anfibios (Duellman, 1999; Hutter *et al.*, 2017). Siendo las laderas orientales de los Andes donde se concentran la mayor riqueza de especies de anfibios (Catenazzi, 2011; Stuart *et al.*, 2004; Hutter *et al.*, 2017). Sin embargo, a pesar de ser una región altamente biodiversa, es al mismo tiempo una de las zonas más vulnerables por las actividades humanas y el cambio climático (Brooks *et al.*, 2002). Por consiguiente, comprender los patrones de riqueza y abundancia a través de sus gradientes de elevación, nos permitirá advertir de los posibles cambios en la biodiversidad frente a un escenario de cambio climático.

En las vertientes orientales de los Andes peruanos se ha reportado una alta riqueza y abundancia de especies de anfibios: sin embargo, pocos estudios se han centrado en explicar los patrones de estructura y distribución de las comunidades de anfibios en gradientes altitudinales. El gradiente de elevación en la zona andino - amazónica del Parque Nacional del Manu representa un área interesante puesto que es una zona de transición no solo en la elevación sino en el clima, topografía y biodiversidad desde la selva baja hasta la puna húmeda. Este gradiente llega hasta los 4 mil metros, ideal para evaluar los factores ambientales asociados a la variación de la riqueza y abundancia de los anfibios. La alta riqueza y proporción de especies endémicas en la parte alta del Parque Nacional del Manu, hacen necesario una mayor comprensión de la interacción entre el medio físico y los anfibios para el mantenimiento y la conservación de la diversidad. El presente estudio contribuye a entender mejor los patrones de variación de la riqueza y abundancia de anfibios terrestres en el gradiente de elevación del Valle de Kosñipata y los factores ambientales que influyen sobre estos parámetros de diversidad.

## FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

Los Andes Tropicales representa el mayor centro de biodiversidad del mundo, debido a la dinámica de los factores históricos y climáticos asociados a su levantamiento andino, generando una alta heterogeneidad ambiental por los cambios en la fisogeografía, y por consiguiente en los patrones de distribución de la biodiversidad. La mayoría de los estudios en los Andes se ha centrado en reportes de biodiversidad, y estimar la riqueza y abundancia de especies; sin embargo, pocos han sido los estudios en tratar de entender y explicar los patrones de distribución de la riqueza de especies en gradientes de elevación (Wallace, 1849; Terborgh, 1977). En organismos ectotermicos como los anfibios, los patrones de distribución comúnmente observados son: la disminución de la riqueza con la elevación creciente (Fauth, Crother, & Slowinski, 1989; Villacampa *et al.*, 2019) y un pico máximo de riqueza en elevaciones intermedias (Catenazzi, Lehr, & von May, 2013; Catenazzi & Rodríguez, 2001). No obstante, estos estudios son pocos y aislados a lo largo de los Andes, y se centran en pocos factores para explicar estos patrones.

En los bosques montanos y puna húmeda en el gradiente de elevación del Valle de Kosñipata en el Parque Nacional del Manu, varios estudios han tenido como objetivo el reporte de la diversidad, entender la variación de la riqueza y abundancia de anuros entre los diferentes rangos de altitud, sin embargo estas investigaciones no responden claramente qué patrón adopta la distribución de la riqueza y abundancia y que factores ambientales influyen y explican mejor estos patrones y variaciones. Por ello, el presente estudio tiene como objetivo responder a las siguientes preguntas:

1. ¿Qué factores ambientales determinan la riqueza y abundancia de anuros a través del gradiente altitudinal del valle de Kosñipata?
2. ¿Cuál es la diversidad de anuros a través del gradiente altitudinal del valle de Kosñipata?
3. ¿Cómo varían la composición y estructura de anuros terrestres a través del gradiente altitudinal?
4. ¿Cómo varían los factores ambientales a través del gradiente altitudinal?
5. ¿Están relacionadas las variaciones de riqueza y abundancia de anuros con la variación de los factores ambientales?

## **OBJETIVOS**

### **a) Objetivo General**

Determinar los factores ambientales que influyen en la riqueza y abundancia de anuros a través del gradiente de elevación del Parque Nacional del Manu.

### **b) Objetivos Específicos**

1. Determinar las especies de anuros a través del gradiente altitudinal del valle de Kosñipata.
2. Evaluar la variación de la composición y estructura de los ensambles de anuros terrestres a través del gradiente altitudinal.
3. Evaluar la variación de los factores ambientales a través del gradiente altitudinal.
4. Relacionar las variaciones de riqueza y abundancia de anuros con la variación de los factores ambientales.

## **HIPÓTESIS**

En el valle de Kosñipata la riqueza y abundancia de anuros terrestres presentan un patrón decreciente.

### **IDENTIFICACIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE VARIABLES**

#### **Variables independientes**

- Factores ambientales. - Son aquellos elementos que permiten que los seres vivos puedan desarrollarse (pendiente, temperatura ambiental, humedad ambiental, cobertura de dosel, profundidad de hojarasca, densidad de sotobosque, cobertura de musgos terrestres, cobertura de herbáceas, cobertura de arbustos, número de árboles con un diámetro a la altura del pecho (DAP) mayor de 10 cm, pH del suelo, humedad del suelo, carbono del suelo (C) y nitrógeno del suelo (N).

#### **Variables dependientes**

- Riqueza. - Es el número de especies presentes en determinado espacio y en un determinado tiempo.
- Abundancia. - Es el número de individuos registrados en las unidades de muestreo.

## JUSTIFICACIÓN

La puna húmeda y los bosques montanos en la parte alta del Parque Nacional del Manu son ecosistemas de gran importancia para la conservación debido a su gran biodiversidad, altos niveles de endemismos y a su papel para la provisión de diferentes servicios ecosistémicos. En estos sistemas montañosos interactúan factores ambientales, geográficos y bióticos que promueven la distribución de la biodiversidad (Graham *et al.*, 2014). Sin embargo, estos sistemas se encuentran entre los más frágiles frente al cambio climático, la expansión agrícola, especies invasoras y la ganadería (Foster, 2001).

Actualmente, el acelerado ritmo con que se modifican los hábitats naturales por disturbios antropogénicos y por el cambio climático en curso, hace urgente la necesidad de comprender los patrones de diversidad y los factores que determinan la distribución de los anuros. Cuantificar y comparar la riqueza, la abundancia y la diversidad en gradientes de elevación ayuda a comprender los procesos subyacentes que determinan los patrones de distribución de los organismos biológicos para este caso en particular, los anuros. Así mismo, comprender como varían los factores ambientales y sus interacciones nos permiten explicar y predecir el nivel de tolerancia de las especies de anuros o cómo podrían cambiar los patrones de riqueza de las especies de anuros frente a futuros cambios globales.

Los resultados obtenidos del presente estudio nos permitirán plantear mejores estrategias de conservación de la riqueza natural de esta región.

# CAPÍTULO I

## GENERALIDADES

### 1.1. ANTECEDENTES

#### 1.1.1. Antecedentes Internacionales

**Fauth, Crother & Slowinski (1989)** analizaron el efecto de la profundidad de hojarasca y la altitud sobre la riqueza, uniformidad y abundancia de la herpetofauna de hojarasca. El estudio se realizó durante la estación húmeda en Costa Rica en un rango de elevación de tres m (Palo Verde) a 1670 m de altitud (Monte Verde). Concluyeron que la riqueza y abundancia de especies se correlacionó positivamente con la profundidad de la hojarasca y negativamente con la elevación: es decir a mayor elevación menor riqueza y abundancia. La uniformidad varió ampliamente y no presentó ningún patrón. Mencionaron que los factores biogeográficos también pudieron ser responsables de esta tendencia y que la mayoría de especies de anfibios y reptiles en tierras altas son endémicos.

**Wyman & Jancola (1992)** realizaron un estudio en 17 localidades al sur de Nueva York durante la época de primavera y otoño en áreas forestales para determinar si el pH influía en la distribución de los anfibios. Los resultados demostraron que la densidad y riqueza de anfibios fueron menores en hábitats de pH bajo (pH menor a 5.1). Los bosques de haya presentaron mayor densidad de anfibios con mayor heterogeneidad del tipo de suelo; frente a los bosques de coníferas. Cada especie respondió al pH del suelo de manera diferente: *Eurycea bislineata*, *Notophthalmus viridescens* y *Desmognathus fuscus* rara vez se encontraban en suelos de pH bajo; *Plethodon cinereus* y *Desmognathus ochrophaeus* ocurrieron en suelos de pH bajo.

**Watling (2005)** investigó si la composición y abundancia de anfibios y reptiles varía según los patrones edáficos de dos tipos de bosques (bosques aluviales en suelos arcillosos con contenido intermedio de nutrientes y bosques residuales de suelos pobres en nutrientes) o están influenciadas por otros factores asociados al tipo de suelo como: disponibilidad de presas y/o características del hábitat (profundidad de hojarasca y densidad de vegetación). El estudio se realizó en la estación biológica La Selva, al noreste de Costa Rica. Sus resultados demostraron que la composición y abundancia de especies

difirió significativamente entre los dos tipos de bosques con sesgo edáfico. El número de individuo de las especies *Craugastor brandfordii* y *Craugastor talamancae* no difirieron entre los dos tipos de bosque; la abundancia de *Dendrobates pumilio* fue mayor en los bosques aluviales que en los bosques residuales; los individuos de *Craugastor diastema* fueron más en parcelas aluviales que en parcelas residuales. Además, la composición y la abundancia de especies no estuvo influida por las características del hábitat.

**Vasconcelos et al. (2010)** evaluaron la influencia de las variables climáticas y altitudinales en la riqueza de anuros y su diversidad reproductiva. Recopilaron datos climáticos (temperatura y precipitación) a través del gradiente altitudinal de 36 localidades brasileñas. La riqueza de especies varió de 16 a 65 especies en cada localidad y el número de modos reproductivos varió entre cuatro a 17 modos. Mediante un análisis de redundancia parcial (pRDA) demostraron que el 23,5% de la variación de la riqueza de especies y modos reproductivos se explicó por los datos climáticos y altitudinales; mientras que el 76,5% permaneció sin explicación, porcentaje que pudo haber sido explicado por otras variables no probadas. Entre las variables explicativas que estudiaron, la precipitación total anual fue la principal variable climática que predijo la riqueza de especies de anuros y el número de modos reproductivos en las localidades brasileñas estudiadas.

**Calambas (2017)** analizó si la riqueza de anfibios presenta un patrón latitudinal o altitudinal a lo largo de la Cordillera de los Andes y si existe influencia de factores ambientales en la distribución de la riqueza. Los factores ambientales evaluados fueron: evapotranspiración, densidad de ríos, precipitación, temperatura, heterogeneidad climática, radiación solar y pendiente. Verificaron una fuerte correlación positiva entre la latitud y la riqueza; demostrando la existencia de un patrón latitudinal. Entre las variables ambientales, la heterogeneidad climática (combinación de variables derivadas de temperatura y precipitación) fue la que mejor explicó la riqueza de especies de anfibios. Mencionó que la mayor riqueza de especies anura, se encontró entre las latitudes 10° N y 18° S, y que esta área coincide con el área de la Cordillera de los Andes, que más precipitaciones recibe a lo largo del año.

**Pérez & Medina (2018)** examinaron la relación entre la abundancia de *Pristimantis renjiformis* (especie endémica de la reserva de Peñas Blancas, Colombia) y factores ambientales (altura, temperatura, humedad relativa, precipitación, porcentaje de cobertura de dosel, profundidad de hojarasca, fase lunar y días con lluvia o secos). Para la evaluación, realizaron búsquedas por encuentros visuales en 8 parcelas de 8m x 8 m en un gradiente altitudinal entre 2205 m y 2371 m de altitud. Concluyeron que la abundancia relativa de *P. renjiformis* se relacionó positivamente con la altura, días con lluvia y sin fase lunar. Los individuos con mayor longitud de cabeza y distancia internarial presentan una relación positiva con la temperatura; debido que, en temperaturas altas, hay presas más grandes, lo que está directamente relacionado con que se encuentren ranas con más grandes para poder consumirlas.

### **1.1.2. Antecedentes Nacionales**

**Blair & Doan (2009)** investigaron la estructura comunitaria y los requisitos de los microhábitats de ranas del género *Pristimantis* en la provincia de Tambopata al sureste de Perú. Evaluaron las siguientes variables: profundidad de hojarasca, cobertura del dosel, altura de percha y tipo de sustrato (hojas, suelo, tronco, raíz y bambú). La abundancia de anfibios del género *Pristimantis* está relacionada al tipo de sustrato y a la altura de la percha. Los sustratos más comunes fueron las hojas durante el día y el suelo durante la noche. Sin considerar la hora del día, registraron más anfibios en hojas; pero la riqueza de especies no varió entre hojas o el suelo. Capturaron adultos más alto del suelo que juveniles y los machos más alto que las hembras. No encontraron una relación significativa entre la abundancia de anfibios y la profundidad de la hojarasca o la cobertura del dosel.

**Blas (2010)** evaluó la diversidad de especies de dendrobatidos en tres tipos de bosques en un gradiente altitudinal desde Santa Carmen al abra La Divisoria, en la región de Huánuco y parte de la región de Ucayali. La mayor diversidad de especies de dendrobatidos se encuentra a altitudes menores a los 1300 m.s.n.m y que el número de epífitas podría ser un factor limitante para el tamaño de las poblaciones de dendrobatidos. Así las especies: *Ameerega altamazonica*, *Ameerega trivittata* y *Ranitomeya lamasi* se distribuyen a altitudes entre los 670 y 740 m.s.n.m. en el bosque premontano. En cambio,

otras tres especies: *Ameerega petersi*, *Ameerega smaragdina* y *Ameerega silverstonei*, fueron encontradas a los 1251 m.s.n.m en el bosque montano. Concluye que la abundancia de las especies presentes en cada tipo de bosques varía a través del gradiente y que la diversidad de especies disminuye con la altitud.

### 1.1.3. Antecedentes Locales

**Catenazzi & Rodríguez (2001)** estudiaron los patrones de diversidad a lo largo del gradiente altitudinal y determinaron la diversidad de especies en la Reserva de Biosfera del Manu, desde 600 m hasta 3600 m de altitud. Encontraron 546 anuros, pertenecientes a 26 especies y 5 familias. Entre las especies más abundante encontraron a *Pristimantis rhabdolaemus*, *Pristimantis danae* y *Noblella peruvianus*. Concluyeron que la riqueza disminuyó siguiendo un patrón monótono con la altitud; es decir con el aumento de la elevación la riqueza disminuyó. A lo largo del gradiente las comunidades se diferenciaron en dos transiciones: comunidades de selva baja y bosque montano (750-1000 m) y comunidades de bosque montano y altoandinas (2400-3000 m), entre cada transición la diversidad se redujo a la mitad.

**von May (2009)** evaluó el efecto de factores del suelo (fosforo total, relación carbono-fósforo del suelo, pH del suelo, humedad del suelo y masa de hojarasca) en la riqueza y abundancia de anfibios de hojarasca en dos tipos de bosque (bosque aluvial y bosque de tierra firme) del río Los Amigos en el departamento de Madre de Dios, Perú. El fósforo total, la relación C:P y el pH del suelo, determinaron la presencia, ausencia y abundancia de anfibios. Con el incremento del fósforo total aumentó la riqueza y abundancia de anfibios; y disminuyó con el incremento de pH y la relación C:P. Mediante un análisis de regresión logística demostraron que la presencia/ausencia de seis especies estuvo influida por diferentes factores del sustrato. La presencia de *Chiasmocleis ventrimaculata* se asoció negativamente con la relación C:P. La presencia de *Pristimantis carvalhoi* se asoció negativamente con el pH. La presencia de *Noblella myrmecoides* se asoció negativamente con dos factores: fósforo total y pH. La presencia de la *Pristimantis reichlei* se asoció negativamente con dos factores, fósforo total y relación C:P. La presencia de *Rinella margaritifera* se asoció negativamente con tres factores, fósforo

total, relación C:P y hojarasca, y se asoció negativamente con la humedad. Ningún factor se asoció con la presencia del *Adenomera sp.* y *Hamptophryne boliviana*.

**Serrano, Whitworth & Villacampa (2015)** investigaron las variables ambientales que afectan la distribución de *Ameerega shihuemoy* a lo largo de arroyos en la Reserva de la Biosfera del Manu. Evaluaron diez parámetros de la estructura del hábitat en 177 puntos de muestreo a lo largo de arroyos. Realizaron modelos lineales generalizados (GLM) para determinar las variables que están relacionadas con la distribución de las ranas. Encontraron que la presencia de *A. shihuemoy* está relacionada a una mayor cobertura, mayor profundidad de hojarasca, un mayor número de refugios, porcentaje de rocas grandes, aguas tranquilas y flujo de corriente bajo.

**Villacampa et al. (2019)** estudiaron cómo diferentes grupos de anfibios responden a la altitud y qué factores impulsan tales respuestas. La investigación se llevó a cabo en la cordillera Piñi-Piñi, Reserva de la Biosfera del Manu (sureste de Perú). Clasificaron las especies en grupos funcionales según sus lugares de reproducción, hábitat y peso. Los grupos funcionales respondieron de diferentes maneras a la altitud. Varios grupos funcionales estaban ausentes en elevaciones superiores: especies grandes (> 10 g), criadores terrestres, arbóreas, y reproductores en charcas y arroyos. Siendo la falta de hábitats acuáticos adecuados para la reproducción un factor importante de la disminución de la diversidad con la altitud. Concluyeron que la abundancia y diversidad de anfibios disminuyó con el aumento de la altitud. Identificaron dos factores que afectan la diversidad y la composición de la comunidad a lo largo del rango: la presencia de cuerpos de agua y la altura del rango.

## 1.2. MARCO TEÓRICO

### 1.2.1. Anfibios terrestres

Son conocidos como terraranas porque agrupan a anfibios de desarrollo directo y cuyos huevos son depositados en microhábitats terrestres. La mayoría de las especies se encuentran entre o sobre la hojarasca; aunque algunas especies son arbóreas (Hedges, Duellman, & Heinicke, 2008). Este grupo de ranas poseen desarrollo directo; es decir, carecen de un estado larval acuático y eclosionan como ranitas en miniatura (Duellman & Lehr, 2009). Este modo de reproducción especializado les permite colonizar una variedad de hábitats, siempre que contengan la suficiente humedad (Hedges, Duellman, & Heinicke, 2008).

Los anfibios del clado de las terraranas constituyen el grupo más diverso en el neotrópico, contiene 5 familias (Ceuthomantidae, Brachycephalidae, Craugastoridae, Eleutherodactylidae y Strabomantidae), 29 géneros y 1190 especies (AmphiaWeb, 2021). Se distribuyen en los bosques montanos en América del Sur y el Caribe, alcanzando la mayor diversidad en la vertiente oriental (Duellman, 2005). En el Perú se han reportado 633 especies de anfibios, de las que 232 especies pertenecen a este clado (AmphiaWeb, 2021). Las terraranas son organismos ideales para examinar los patrones de diversidad en bosques montanos porque representan el grupo de anfibios con la mayor cantidad de especies conocidas (AmphiaWeb, 2021). Además, cubren una amplia variedad de hábitats desde bosques tropicales húmedos hasta pajonales. Algunos estudios sugieren que su distribución está influida por los factores edáficos como la profundidad de hojarasca y características del suelo y otros factores (von May, 2009; Watling, 2005; Wyman & Jancola, 1992), que con el presente estudio también se espera demostrar.

### 1.2.2. Relación entre anfibios y factores ambientales

Los anfibios poseen varias características que los hacen sensibles a los factores ambientales. Son organismos ectotermos; es decir, su temperatura corporal depende de fuentes de calor externas (Wells, 2007). La temperatura afecta todas las funciones de los anfibios: tasa metabólica, locomoción, digestión e incluso se relaciona al balance hídrico

(Vitt & Caldwell, 2014). Poseen restricciones fisiológicas asociadas a su piel delgada y permeable, que es importante para el intercambio de gases y la osmoregulación, por consiguiente su presencia está íntimamente asociada a la presencia de lugares húmedos (Wygoda M., 1984). Además, para su reproducción dependen de la disponibilidad de agua, sus huevos están cubiertos por una capa muy delgada y solo pueden sobrevivir si se mantienen húmedos (Mc Diarmid, 2014).

La temperatura y la humedad ambiental pueden considerarse como los primeros filtros que actúan sobre la riqueza y distribución de anfibios (Calambás, 2017; Vasconcelos *et al.*, 2010). Sin embargo, existen otro grupo de factores que están asociados con la productividad primaria (comunidades de plantas) y de manera indirecta influyen la abundancia de recursos alimenticios (von May, 2009). Estudios realizados en anfibios terrestres muestran como las características del sustrato como el pH, el fosforo y la profundidad de hojarasca limitan su distribución (Blair & Doan, 2009; Fauth *et al.*, 1989; von May, 2009). Las características del ambiente (por ejemplo, cobertura de musgos terrestres, profundidad de hojarasca, densidad de sotobosque) podrían contribuir a determinar la diversidad de anfibios, puesto que los anfibios utilizan estos microhábitats como refugios o lugares de caza. Además, a nivel de los gradientes altitudinales los datos de altitud no pueden tratarse solos, hay factores como la humedad, la temperatura y la radiación solar que varían sinérgicamente con la elevación; por ello, es mejor incorporar otros factores ambientales para comprender de mejor manera los patrones de la riqueza y abundancia de anfibios.

La distribución de anfibios puede verse influida por factores antropogénicos o naturales, este estudio se enfoca en los factores naturales. Los factores naturales se pueden dividir en bióticos y abióticos: los bióticos, componen la parte viva del ecosistema como la estructura de la vegetación, competencia, depredación, etc.; y los abióticos son aquellos factores inertes: clima, altitud, suelo, etc. Por ejemplo, la presencia de agua puede determinar la abundancia y el ensamblaje de algunas especies (Villacampa *et al.*, 2019; Werner *et al.*, 2007). El gradiente altitudinal también juega un rol importante en la distribución de la diversidad (Catenazzi & Rodríguez, 2001; Pérez & Medinal, 2018; Vasconcelos *et al.*, 2010). Muchos factores abióticos varían de manera predecible con el

aumento de la elevación (temperatura, presión del aire y radiación solar). Mientras otros tienen relaciones más complejas, como el pH que tiene una relación estrecha con la roca madre y los procesos físicos y biológicos que contribuyen a la formación del suelo (Wang *et al.*, 2015).

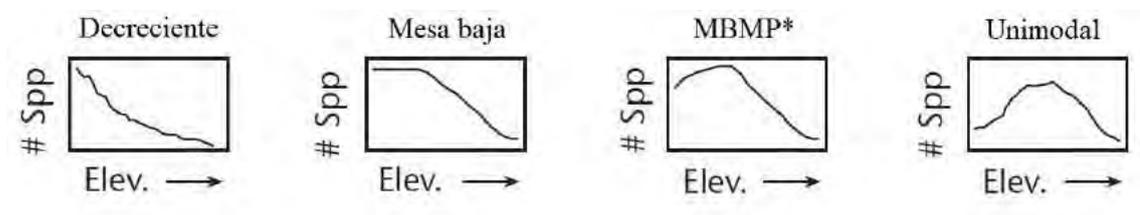
### 1.2.3. Patrones de riqueza

Los patrones de riqueza de especies a lo largo de un gradiente altitudinal se dividen en cuatro patrones comunes (McCain & Grytnes, 2010) y son:

- Decreciente; se caracteriza porque el número de especies disminuye de manera uniforme a medida que la elevación aumenta.
- Meseta baja; este patrón se caracteriza por una alta riqueza en la parte inferior del gradiente de manera consecutiva que decrece al aumentar la elevación.
- Meseta baja y un pico de elevación media; en donde la riqueza es alta en elevaciones bajas a los 300 m con un máximo de diversidad encontrado en la mitad del gradiente y de ahí decrece.
- Unimodal; con un máximo de diversidad en medio del gradiente con un 25 % adicional de especies comparada con la base y la cima de la montaña.

**Figura 1**

*Cuatro principales patrones de riqueza en gradientes altitudinales de montañas en todo el mundo*



*Nota.* MBMP\*=meseta de baja con un pico de elevación media. Fuente de la imagen modificado de McCain & Grytnes, 2010.

#### **1.2.4. Andes Tropicales**

Los Andes Tropicales constituyen la cadena montañosa más larga del planeta, extendiéndose aproximadamente a lo largo de 9000 km atravesando Colombia, Venezuela, Ecuador, Perú, Bolivia, Argentina y Chile (Graham, 2009). Por las transformaciones geográficas y climáticas ocurridas en los Andes durante los últimos millones de años, poseen hábitats únicos a los que la biota se ha adaptado (Hoorn *et al.*, 2010). Son reconocidos como una de las regiones más importantes del mundo desde el punto de vista de la conservación puesto que contienen un alto porcentaje de especies endémicas (Myers *et al.*, 2000). Sin embargo, las perturbaciones antropogénicas y el cambio climático están provocando cambios en la abundancia y desplazamientos de los rangos de distribución de las especies (Brooks *et al.*, 2002; Larsen *et al.*, 2009).

#### **1.2.5. Bosque nublado**

Este tipo de bosques están localizados en la vertiente oriental de los Andes, ocurren en un rango promedio de 1000-3000 m de altitud (Webster *et al.*, 1995). Los bosques nublados presentan árboles de menor tamaño de ramas retorcidas y hojas pequeñas; también, se encuentra una alta proporción de epífitas (Foster, 2001; Leigh, 1975; Young, 2006). Sus suelos son generalmente húmedos y presentan una gruesa capa de materia orgánica (Leigh, 1975). Además, estos bosques nos ofrecen una variedad de servicios ecosistémicos como: la regulación de flujos hídricos, la retención de agua y la condensación de la neblina en musgos y epífitas (Anderson *et al.*, 2011). Específicamente en el valle de Kosñipata la vegetación varía desde la selva en tierras bajas a el bosque nuboso montano en elevaciones medias y hasta una puna con pastizales de alta elevación (Rapp & Silman, 2012).

## **CAPITULO II**

### **MATERIALES Y MÉTODOS**

#### **2.1. ÁREA DE ESTUDIO**

##### **2.1.1. Ubicación**

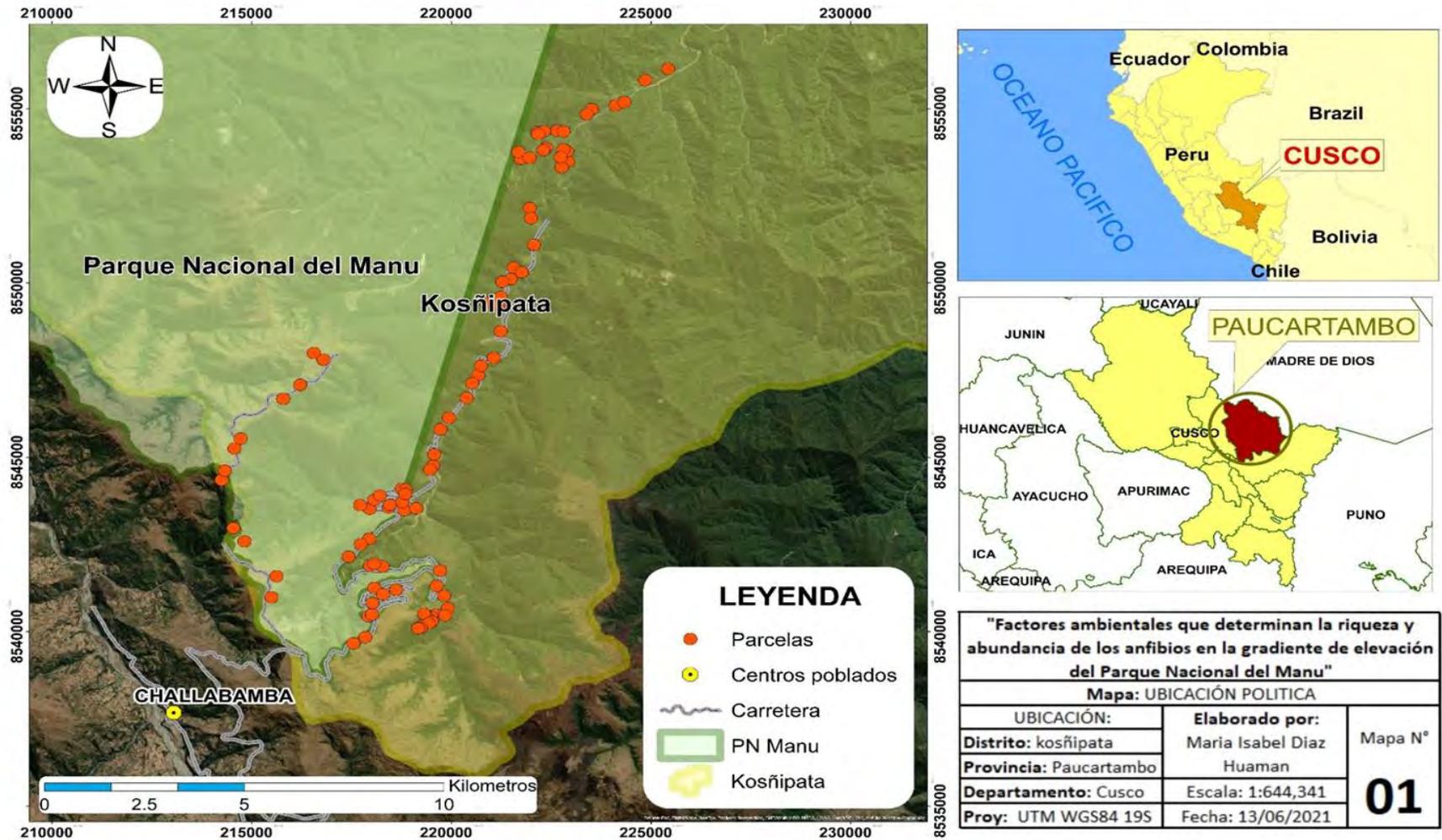
El presente estudio se realizó a través del valle de Kosñipata en parte del Parque Nacional Manu y su zona de amortiguamiento, ubicado en el distrito de Kosñipata, en la provincia de Paucartambo, región del Cusco (Figura 2). El distrito de Kosñipata limita por el norte con el departamento de Madre de Dios, al este y al sur con la provincia de Quispicanchis y al oeste con Calca. Geográficamente, se encuentra en los paralelos 13°2'42.18" de Latitud Sur y 71°27'48.67" de Longitud Oeste. Los puntos de muestreo se encuentran entre el bosque nublado y la puna húmeda, en un rango de elevación desde los 1300 m (San Pedro, -13.05689 -71.54195) hasta los 3700 m de altitud (Acjanaco, -13.12295 -71.61203).

##### **2.1.2. Clima**

Rapp & Silman (2012) describieron el microclima del bosque nublado a través gradiente altitudinal entre 1500 m a 3500 m de altitud, centrándose en el valle de Kosñipata en el Parque Nacional del Manu. Reunieron la información de 4 estaciones meteorológicas del Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI), 3 estaciones micrometeorológicas del Sistema de Información de Biodiversidad de Atrium (ABERG) e instalaron sensores HOBO desde el 2007 al 2009 en el límite norte del valle de Kosñipata. Identificaron tres periodos estacionales: la temporada de lluvias desde noviembre hasta marzo. Abril fue una breve transición entre la estación húmeda a la estación seca. La segunda estación, la estación seca, desde mayo a julio. De agosto a octubre, la transición de la estación seca a la húmeda. La temperatura media anual disminuye a lo largo del gradiente de elevación a una tasa media de 5,2 °C a cada mil metros de elevación (Rapp & Silman, 2010). Las temperaturas fueron más altas en la estación húmeda que en la estación seca. Específicamente, la temperatura media varía de 16 (±1,1) °C a 1500 m hasta 6,5 (±0,9) °C a 3600 m de altitud (Rapp & Silman, 2012).

**Figura 2**

*Ubicación del área de estudio en el valle de Kosñipata, provincia Paucartambo, región Cusco, Perú.*



Similarmente, la precipitación media anual varía desde ~5000 mm por año a 1500 m de altitud hasta aproximadamente 1800 mm por año a 3500 m de elevación, siendo los meses de enero – febrero y julio – agosto con mayor y menor precipitación, respectivamente (Rapp & Silman, 2012). La precipitación anual disminuye linealmente con la altitud por encima de 1000 m. La humedad relativa es alta durante la mayor parte del año, con valores superiores al 95% durante la época de lluvias. También, la radiación y el déficit de presión de vapor declinan con la altitud (Rapp & Silman, 2012).

### **2.1.3. Suelo**

El suelo entre 1000 a 3400 m.s.n.m están compuestos predominantemente por lutitas meta-sedimentarias paleozoicas (~ 450 Ma) (~ 80%) y con granito del Pérmico (Rapp *et al.*, 2012; Whitaker *et al.*, 2014). Los suelos entre 1000 m a 2020 m de altitud se clasificaron como cambisoles, mientras que los suelos de 2520 m a mayor altitud son clasificados como umbrisoles (Whitaker *et al.*, 2014). El total de C del suelo aumenta significativamente con la elevación creciente, pero la disponibilidad de nitrógeno (N) disminuye ampliamente con la elevación (Zimmermann *et al.*, 2010; Whitaker *et al.*, 2014). Además, la productividad primaria neta de la planta, tanto superficial como la subterránea disminuye con la elevación (Girardin *et al.*, 2010). La tasa de descomposición también disminuye con la altitud (Meier *et al.*, 2010). La materia orgánica del suelo aumenta con la elevación, los sitios más altos tenían capas de suelo orgánico más grueso (Zimmermann *et al.*, 2010)

### **2.1.4. Flora**

El área de estudio situado entre el bosque montano a 1500 m de elevación hasta la puna húmeda a 3700 m presenta una composición florística variable, dominada por la familia Lauraceae rica en especies leñosas (mayores a 2.5 cm de DAP), seguida por la familia Fabaceae, Melastomataceae y Cyatheaceae (Farfan *et al.*, 2015). En los bosques montanos situados entre 1500 m a 2000 m de elevación predominan especies de los géneros *Weinmania*, *Clusia*, *Chusquea*, *Cyathea*, *Myrcia*, *Clethra* (Fadrique, 2020). En elevaciones superiores, la puna húmeda posee una vegetación mixta de familias Asteraceae y Ericaceae con parches de bosques arbustivos compuestos principalmente por árboles de las familias Clusiaceae y Cunoniceae (Zimmerman, 2010).

## 2.2. MATERIALES

### a) Material Biológico

- Anuros

### b) Material de Campo

- Cuaderno de campo
- Wincha
- GPS
- Brújula
- Densiómetro convexo
- Higrómetro
- pH metro
- Balanza
- Vernier

### c) Material de Gabinete

- ArcGis 10.3
- R v3.6.3
- Microsoft Excel
- Past

## 2.3. MÉTODOS

El presente estudio es de tipo descriptivo. Las evaluaciones en campo se llevaron a cabo en dos salidas; la primera durante la época de lluvias a partir del 28 de marzo y finalizando el 15 de abril del 2018 y la segunda del 20 de noviembre y finalizando el 5 de diciembre del 2019.

### 2.3.1. Trabajo de campo

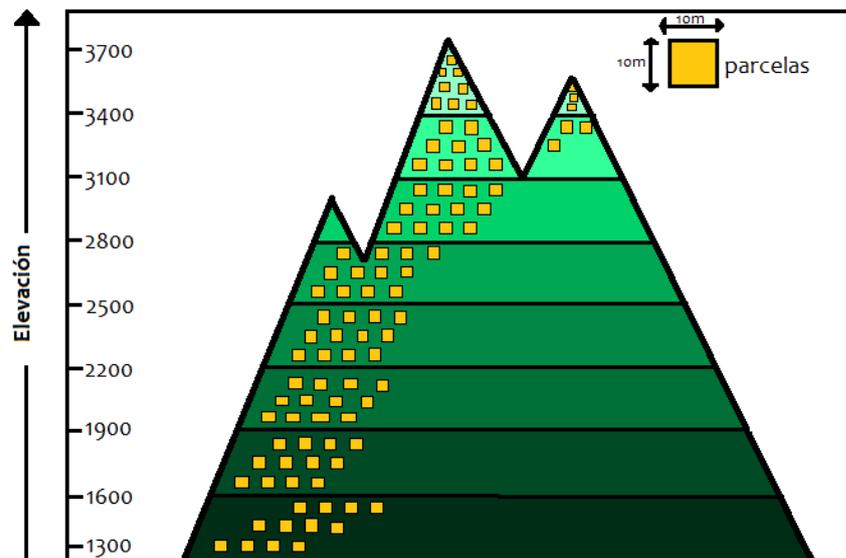
#### 2.3.1.1. Metodología de muestreo

La técnica de muestreo por parcelas consiste en la búsqueda intensiva de anfibios en polígonos cuadrangulares de tamaños diversos en lugares seleccionados de manera aleatoria (Angulo *et al.*, 2006). Este tipo de muestreos son muy útiles para evaluar especies de anuros que viven en la hojarasca y nos permiten medir diferencias entre diferentes áreas. Con la metodología de parcelas se puede determinar la densidad, diversidad de especies y abundancias relativas (Angulo *et al.*, 2006). El muestreo por cuadrantes ha sido empleado con éxito en estudios anteriores en la misma área de estudio para determinar patrones de diversidad de anfibios (Catenazzi & Rodríguez, 2001).

Se evaluaron 96 parcelas de 10 m x 10 m, cuatro parcelas cada 100 m de elevación, en un gradiente altitudinal que varía entre 1300 m y 3700 m de altitud. Para asegurar el tamaño muestral del análisis, se agruparon las parcelas en 8 rangos de 300 m de diferencia altitudinal (es decir, 12 parcelas por cada rango) (Figura 3). Los sitios de muestreo fueron elegidos al azar teniendo en cuenta la accesibilidad y la elevación. Los muestreos se llevaron a cabo entre las 9:00 y 16:00 horas aproximadamente, dependiendo del estado del clima y la lejanía entre los puntos de muestreo. Las búsquedas se realizaron en dos grupos por separado cada grupo integrado por tres personas: entre los cuales participaron el Dr. Catenazzi, yo y apoyos locales que se contrataron. Cada parcela era muestreada en aproximadamente 30 min.

**Figura 3**

*Diagrama de diseño de muestreo.*



*Nota.* Cuatro parcelas de 10m x 10m cada cien metros. Ocho rangos altitudinales entre 1300 m y 3700 m de altitud cada 300m.

**Tabla 1**

*Coordenadas decimales de las 96 parcelas muestreadas en la temporada lluviosa en el Valle de Kosñipata.*

Parcelas Evaluadas	Coordenadas decimales		Altura (m.s.n.m)	Estación	Parcelas Evaluadas	Coordenadas decimales		Altura (m.s.n.m)	Estación
	Latitud	Longitud				Latitud	Longitud		
576	-13.05689	-71.54195	1325	San Pedro	534	-13.15942	-71.60078	2510	Pillahuata
578	-13.04833	-71.53178	1341	San Pedro	535	-13.16214	-71.59383	2528	Pillahuata
573	-13.05771	-71.54396	1347	San Pedro	533	-13.16071	-71.604	2548	Pillahuata
575	-13.05128	-71.53707	1378	San Pedro	536	-13.16072	-71.59713	2588	Pillahuata
599	-13.05864	-71.54945	1421	San pedro	531	-13.16169	-71.60181	2615	Pillahuata
604	-13.05995	-71.55066	1425	San Pedro	532	-13.16136	-71.59743	2625	Pillahuata
567	-13.06418	-71.55754	1474	San Pedro	538	-13.16945	-71.602	2695	Pillahuata
570	-13.06426	-71.56055	1497	San Pedro	539	-13.17081	-71.60397	2695	Tuneles
601	-13.06436	-71.55603	1532	San Pedro	562	-13.17594	-71.60087	2735	Esperanza
569	-13.06455	-71.56213	1542	San Pedro	560	-13.17666	-71.59898	2760	Esperanza
606	-13.06499	-71.56191	1553	Lekk gallitos	537	-13.17402	-71.60681	2761	Tuneles
572	-13.06956	-71.56653	1566	San Pedro	559	-13.17645	-71.6019	2769	Tuneles
571	-13.07137	-71.56593	1600	Mirador	566	-13.18443	-71.58484	2800	Wayqecha
574	-13.07113	-71.56393	1640	Puente Unión	563	-13.18758	-71.58398	2802	Wayqecha
615	-13.06917	-71.56075	1667	Mirador	564	-13.18945	-71.58463	2858	Wayqecha
614	-13.06857	-71.56015	1669	Mirador	561	-13.18907	-71.58492	2889	Esperanza
603	-13.07219	-71.55513	1737	Mirador	565	-13.17785	-71.58574	2947	Wayqecha
611	-13.06895	-71.55611	1739	Mirador	568	-13.18182	-71.58656	2978	Wayqecha
609	-13.06951	-71.55524	1762	Mirador	516	-13.18921	-71.5868	2985	Wayqecha
608	-13.07365	-71.55658	1775	Mirador	517	-13.18982	-71.58795	2997	Wayqecha
605	-13.08416	-71.56406	1827	Bosque	522	-13.19147	-71.58849	3013	Wayqecha
610	-13.08675	-71.56377	1847	Mirador	520	-13.19105	-71.58774	3023	Wayqecha
613	-13.071	-71.55676	1892	Trocha union	521	-13.19216	-71.58991	3058	Wayqecha
612	-13.09368	-71.56316	1895	Rocotal-Enaco	523	-13.19266	-71.59029	3077	Captacion
581	-13.1025	-71.56863	1928	Suecia	524	-13.1927	-71.59092	3100	Captacion
584	-13.09952	-71.56793	1954	Suecia	525	-13.19274	-71.59092	3105	Wayqecha
616	-13.10072	-71.56606	1958	Suecia	526	-13.18218	-71.60093	3130	Wayqecha
586	-13.10316	-71.57057	1968	Suecia	518	-13.18936	-71.58926	3190	Wayqecha
588	-13.1087	-71.57433	2015	Suecia	519	-13.189	-71.58955	3215	Wayqecha
585	-13.10916	-71.57149	2017	Suecia	558	-13.18385	-71.59897	3215	Llamawasi
583	-13.1071	-71.57099	2019	Suecia	527	-13.18272	-71.59592	3234	Wayqecha
590	-13.11599	-71.57108	2070	Rocotal	557	-13.1861	-71.60143	3239	Wayqecha
587	-13.12287	-71.57275	2115	Rocotal	529	-13.1895	-71.60235	3320	Llamawasi
592	-13.12486	-71.57573	2140	Rocotal	530	-13.18908	-71.60156	3338	Llamawasi
589	-13.12731	-71.57643	2173	Rocotal	528	-13.19492	-71.60315	3395	Wayqecha
594	-13.12941	-71.57779	2175	Morro Leguia	556	-13.19649	-71.60591	3398	Llamawasi
591	-13.13318	-71.57913	2200	Estrella	552	-13.16981	-71.63078	3402	Acjanaco
596	-13.1383	-71.58326	2220	Estrella	553	-13.16638	-71.63332	3453	Acjanaco
593	-13.14124	-71.58527	2245	Buenos Aires	554	-13.1844	-71.62472	3480	Acjanaco
598	-13.14774	-71.58677	2285	Yanamayo	555	-13.17893	-71.62352	3494	Acjanaco
595	-13.15062	-71.58704	2300	Buenos Aires	550	-13.15384	-71.63591	3562	Acjanaco
600	-13.15171	-71.58779	2310	Pillahuata	548	-13.14575	-71.63284	3575	Tres cruces
597	-13.15792	-71.59356	2332	Buenos Aires	549	-13.1432	-71.63143	3588	Acjanaco
602	-13.15829	-71.59943	2390	Pillahuata	551	-13.15147	-71.63512	3595	Tres cruces
543	-13.15678	-71.59344	2400	Pillahuata	547	-13.12938	-71.61753	3646	Tres cruces
542	-13.15657	-71.59432	2415	Pillahuata	544	-13.12121	-71.61424	3660	Tres cruces
541	-13.16164	-71.59109	2420	Pillahuata	546	-13.13295	-71.62146	3660	Tres cruces
540	-13.15999	-71.59426	2440	Pillahuata	545	-13.12295	-71.61203	3669	Tres cruces

### 2.3.1.2. Identificación de especies

La identificación de las especies capturadas, se realizó en campo con ayuda de guías especializadas: Anuros del Valle de Kosñipata (900-3800 m), PN Manu, Perú (Catenazzi, 2012b), Anfibios Acjanaco, Wayquecha y Pillahuata, Cusco Perú (Catenazzi, 2012a) y la ayuda del especialista herpetólogo Dr. Alessandro Catenazzi que contribuyó con la verificación de las identificaciones, así como se hizo la revisión de las descripciones originales (por ejemplo De La Riva, Chaparro, & Padial, 2008,). Además, se obtuvieron datos: del sexo, las medidas de longitud hocico-cloaca (LHC) y el peso. Todos los ejemplares capturados luego de ser medidos y fotografiados se liberaron.

### 2.3.1.3. Análisis de muestreo

#### **2.3.1.3.1. Curvas de acumulación de especies**

Las curvas de acumulación permiten evaluar la representatividad del muestreo y comparar los valores de riqueza observados con los valores estimados. En el presente trabajo se utilizaron dos estimadores no paramétricos de riqueza específica: Chao y Bootstrap, empleando el paquete R Vegan (Oksanen *et al.*, 2020). Donde Chao estima el número de especies esperadas considerando la relación entre el número de especies únicas (singletons) y el número de especies duplicadas (doubletons) (Moreno, 2001); y Bootstrap estima la riqueza de especies a partir de la proporción de muestras que contienen a cada especie. Cuando la curva se estabilice en una asíntota indica que aunque aumente el esfuerzo de muestreo; el número de especies ha llegado a su máximo por lo que se tiene un buen muestreo (Escalante, 2003).

Las dos curvas de acumulación de especies del presente estudio muestran la tendencia a la suavización de la pendiente por lo que se puede inferir que el esfuerzo de muestreo realizado fue representativo para el área de estudio. Según el estimador Chao 1, el número de especies esperadas es de 24 especies; por lo que, el número de especies registradas en esta temporada (20 especies) representan una eficiencia en el muestreo del 81.82%. De acuerdo con el estimador Bootstrap, el número de especies estimado fue similar al observado (22 especies estimadas de 20 especies registradas); es decir, representa una eficiencia en el muestreo de 90.9% (Figura 4 y 5).

Figura 4

*Curva de acumulación por el método no paramétrico Chao 1*

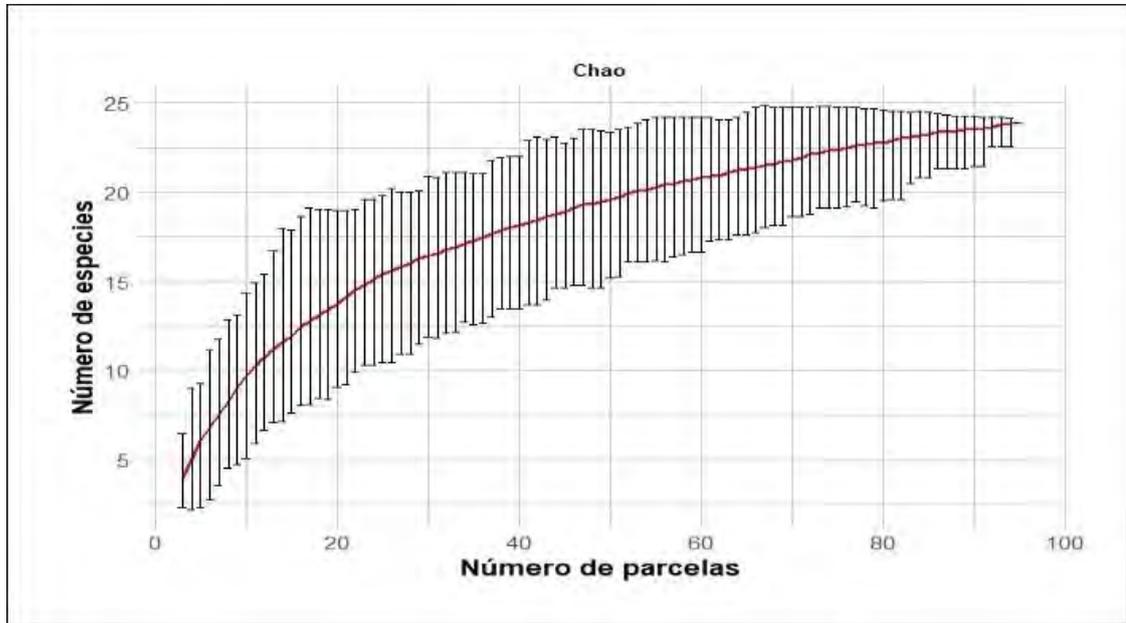
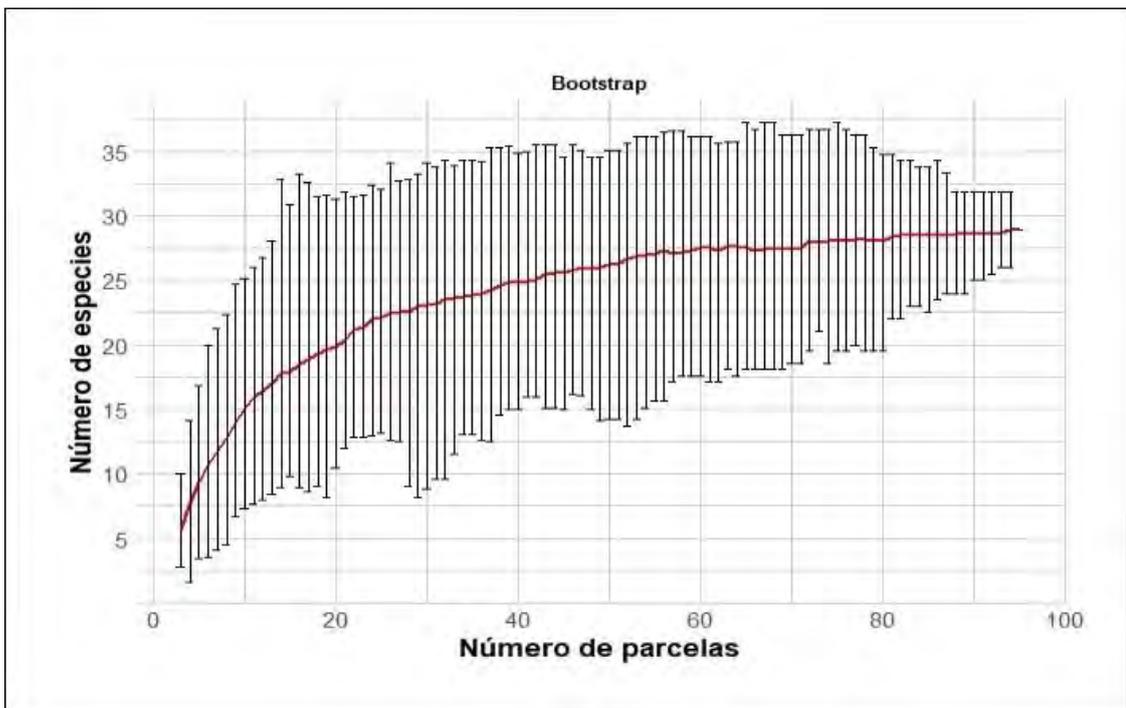


Figura 5

*Curva de acumulación por el método no paramétrico Bootstrap.*



#### 2.3.1.4. Evaluación de factores ambientales

En cada parcela muestreada se registraron los siguientes datos: coordenadas decimales y altitud (Tabla 1). También, se registraron los siguientes factores:

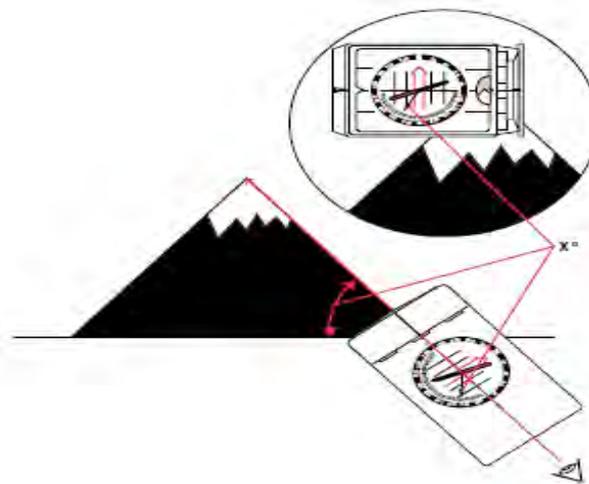
- **Temperatura(°C) y humedad relativa (%RH):** La temperatura y la humedad relativa ambiental se estimaron con ayuda de un termohigrómetro. El aparato se ubicó en áreas no muy cerca del suelo, donde el sensor estuviera protegido de la caída de agua o de la luz directa del sol. Por lo general encima de los troncos de los árboles o siendo sostenido por aproximadamente diez minutos.
- **Pendiente (°):** Para medir la inclinación de la pendiente se usó la escala de una brújula de la marca Suunto que puede funcionar como un clinómetro (Figura 6).
- **Cobertura de dosel (%):** La cobertura del dosel se calculó con ayuda de un densiómetro convexo, la medición se realizó en cinco puntos dentro de la parcela: en cada esquina y en el centro de cada parcela, siendo el valor final un promedio de estas cinco medidas y expresado en porcentajes de 0 al 100 %, en cada punto se realizaron cuatro lecturas en dirección norte, sur, este y oeste.
- **Profundidad de hojarasca (cm):** este cálculo se realizó antes de empezar la búsqueda en cada parcela, para no afectar los resultados Se realizaron cinco medidas de la profundidad de hojarasca con ayuda de una estaca marcada cada diez cm, la cual se hundía en cada punto para comprobar la profundidad.
- **Sotobosque:** con ayuda de la vara marcada se contaron el número de rangos marcados cada 10 cm visibles a una distancia de 5 m (cinco medidas por parcela en los mismos puntos).
- **Coberturas (%):** la cobertura de sotobosque, musgos, herbáceas, arbustos y árboles, se calculó realizando evaluación visual del área relativa cubierta por los diferentes tipos de vegetación, expresado en porcentajes de 0 a 100 %. Siendo 100 % la cobertura completa del suelo por el tipo de vegetación y cero % un terreno sin vegetación.
- **Árboles con DAP > 10 cm:** este valor se estimó por observación, contando el número de árboles con diámetro a la altura del pecho (DAP) mayor a 10cm.
- **pH y el contenido de humedad relativa del suelo (%RH):** se midieron en todas las parcelas utilizando un medidor manual de la marca Kelway. Se presionó el botón por

aproximadamente tres a dos minutos para medir la humedad. Luego se dejó el aparato en el suelo esperando que la aguja se estabilice para medir el pH.

- **% N y % C:** se removieron muestras de suelo de aproximadamente 05 parcelas cada 300 m de diferencia altitudinal. Cada muestra constituida por la mezcla de tres sub-muestras obtenidas de puntos al azar dentro de cada parcela. Las muestras fueron tomadas de entre 10 a 20 cm, retirando la capa de hojarasca. Luego fueron secadas, trituradas con un mortero, tamizadas y empaquetadas en pequeñas bolsas ziploc.

### Figura 6

*Representación gráfica de la estimación de la pendiente*



*Nota.* Fuente manual de uso de brújula marca SUUNTO.

### 2.3.2. Trabajo de gabinete

#### 2.3.2.1. Análisis de suelos

Las muestras de suelos fueron analizadas en el laboratorio de suelos de la Universidad Internacional de Florida (FIU), donde se midió el contenido de C y N con un ayuda de un espectrómetro de masas (SERC-Blue Carbon Analysis Laboratory).

#### 2.3.2.2. Sistematización de datos

En gabinete, se sistematizaron los datos de campo en una tabla Excel (Anexo 1). Además, se realizaron los análisis estadísticos e interpretación de datos correspondientes.

## 2.4. ANÁLISIS DE DATOS

Los análisis de datos se realizaron en los programas Microsoft Excel, R versión 3.6.3 y Past versión 4.07.

### 2.4.1. Variación de la composición y estructura de anuros

#### 2.4.1.1. Riqueza y abundancia de especies

Se consideró a la riqueza (S) como el número de especies registradas en el área de estudio; mientras la abundancia (N) fue el número de individuos de la misma especie obtenidos en un mismo punto de muestreo, donde al expresarse en porcentajes se obtuvo la abundancia relativa. Para conocer cómo varía la presencia de las especies en el gradiente altitudinal, se realizó un gráfico de distribución en el programa estadístico R (R Core Team, 2021) usando el paquete R ggplot2 (Wickham, 2019).

#### 2.4.1.2. Curva de rango – abundancia

Se utilizaron curvas de Whittaker o de rango abundancia, para representar el número de especies (S) y de sus abundancias proporcionales ( $\pi_i$ ) para cada rango altitudinal. Una de las ventajas gráficas de las curvas de Whittaker o curvas de dominancia-diversidad, es que muestran claramente las diferencias en la uniformidad entre ensamblajes (Magurran, 2004). Estos gráficos no solo permiten visualizar la abundancia de las especies, sino también permiten describir la uniformidad y la riqueza (Magurran, 2004). La inclinación de la curva indica la equitatividad o como se distribuyen los individuos; una inclinación pronunciada indica una alta dominancia; mientras que, una inclinación poco pronunciada indica una mayor uniformidad puesto que la abundancia de diferentes especies es similar (Magurran, 2004). Este análisis se realizó con el paquete R BiodiversityR (Kindt R & Coe R, 2005).

#### 2.4.1.3. Diversidad alfa

La diversidad alfa fue calculada usando los números de Hill o números efectivos ( $N_k$ ), puesto que los tradicionales índices de diversidad presentan diferentes unidades lo que dificulta su interpretación y comparación (por ejemplo, el índice de Simpson no tiene unidades; el índice de Shannon-Wiener se expresa como bits/individuo, cuando la base del logaritmo es 2, o decits/individuo, si la base del logaritmo es 10, y nats/individuo

cuando se utilizan logaritmos naturales) (Hill, 1973; Jost & Gonzalez, 2012). Para este análisis se utilizó el paquete R iNEXT (Hsieh TC, Ma KH & Chao A, 2020).

Los números de Hill son:

$$N_K = (\sum(p_i^k))^{1/(1-k)}$$

Donde la derivación de esta ecuación genera diferentes órdenes denominados k. Esta serie de números permiten calcular el número efectivo de especies en una muestra, es decir, una medida del número de especies cuando cada especie es ponderada por su abundancia relativa. Los principales órdenes (k= 0 ó 1 ó 2) son:

$N_0$  = número de especies (S)

$N_1$  = número de especies abundantes =  $e^{H'}$  = entropía de Shannon-Weiner (H')

$N_2$  = número de especies muy abundantes =  $1/D_{Si}$  = diversidad de Simpson (Dsi)

Se dan en unidades de número de especies (Moreno, 2001). Los índices de diversidad estimados (S, H' y DSi) se presentan según el rango altitudinal.

#### 2.4.1.4. Diversidad beta

La diversidad beta es el grado en el que dos muestras son semejantes. La diversidad beta se puede analizar a través de tres tipos de métodos: medidas de similitud / disimilitud, medidas de recambio/reemplazo de especies y métodos de clasificación u ordenación (Magurran, 2004). Se analizó la similitud entre las comunidades de anuros de cada rango altitudinal utilizando el índice de similitud de Jaccard. Para realizar este análisis se utilizó el paquete R proxy (Meyer & Buchta, 2020).

$$I_j = \frac{c}{a + b - c}$$

$a$  = número de especies en el sitio A

$b$  = número de especies en el sitio B

$c$  = número de especies compartidas

El intervalo de valores para este índice va de 0 cuando no hay especies compartidas entre ambos sitios, hasta 1 cuando los dos sitios tienen la misma composición de especies (Moreno, 2001).

También se realizó un clúster del mismo índice para visualizar la similitud entre los rangos altitudinales. El clúster de similitud se generó con el programa Past (Hammer *et al.*, 2001). El índice de Jaccard da igual importancia a todas las especies sin tomar en cuenta su abundancia; por lo tanto, funciona bien para muestras con especies raras (Chao, Chazdon, Colwell, & Shen, 2005).

#### **2.4.2. Variación de factores ambientales a través del gradiente altitudinal**

Para el análisis de los factores ambientales (cobertura de dosel, cobertura de musgos, cobertura de herbáceas, cobertura de arbustos, profundidad hojarasca, sotobosque, árboles con DAP >10cm, temperatura ambiental, humedad ambiental, pendiente, pH del suelo, humedad del suelo, nitrógeno del suelo y carbono de suelo), se elaboró una tabla comparativa por cada rango altitudinal. Luego se obtuvieron los estadísticos descriptivos (media y desviación estándar).

Posteriormente, se realizaron análisis exploratorios a través de diagramas de cajas para verificar los factores ambientales sin o con superposición de cuartiles, donde los factores que presentaron ninguna o una mínima superposición reflejaron los cambios de este parámetro entre los rangos evaluados, a diferencia de los parámetros que presentaron superposición de cuartiles no reflejaron ningún cambio. Para confirmar si las variables fueron significativamente diferentes a través del gradiente, se realizó un análisis no paramétrico Kruskal-Wallis ( $p < 0,05$ ), luego de comprobar la falta de conformidad con los supuestos de normalidad (Shapiro Wilk) y homogeneidad de varianzas (Test de Barlett). Los test de normalidad y homogeneidad se realizaron con los paquetes básicos del programa R (R Core Team, 2021).

##### **2.4.2.1. Análisis de componentes principales (ACP)**

Se realizó un análisis de componentes principales (ACP) para explorar la existencia de patrones de variación ambiental a través del gradiente altitudinal. Este análisis se realizó en el paquete R Vegan (Oksanen *et al.*, 2020).

El análisis de componentes principales (ACP) es un método estadístico que permite simplificar un conjunto de muchas variables a un pequeño grupo, denominados componentes principales (Cayuela, 2011). Los componentes principales son una combinación lineal de las variables originales (Cayuela, 2011). Estos componentes son independientes entre sí y cada uno de ellos contienen una variabilidad de la matriz básica original (Palacio, Apodaca, & Crisci, 2020).

#### 2.4.2.2. Análisis de correlación

Este análisis permite determinar la fuerza de la “asociación” entre dos variables cuantitativas (Ortega *et al.*, 2009). Este análisis se desarrolló con ayuda del paquete R psych (Revelle, 2021). Por la naturaleza de los datos (sin distribución normal) el coeficiente de correlación empleado fue Spearman:

$$r_R = 1 - \frac{6 \sum_i d_1^2}{n(n^2 - 1)}$$

Donde:

$n$  es de número de unidades de muestreo

$d$  es diferencia entre los rangos de las variables para cada unidad de muestreo.

Los valores de  $r$  varían de  $\pm 1$ . Siendo  $+1$  si la correlación es positiva perfecta y ambas variables covarían en el mismo sentido;  $-1$  si la correlación es negativa perfecta y ambas variables covarían en sentidos opuestos y  $r = 0$  implica que no existe una asociación lineal entre las variables.

Se emplean como medida de fuerza de asociación (tamaño del efecto =  $r^2$ ):

0.1: asociación pequeña.

0.3: asociación mediana.

0.5: asociación moderada.

0.7: asociación alta.

0.9: asociación muy alta.

Para visualizar los datos se realizó un gráfico compuesto por una diagonal principal que muestra los histogramas para analizar la normalidad de las variables, en la parte inferior de la diagonal una gráfica de dispersión y en la parte superior de la diagonal el coeficiente de correlación. Este gráfico se realizó con ayuda del paquete psych de R (Revelle, 2021). Se determinó el valor de significancia de la correlación, puesto que por muy alto que sea un coeficiente de correlación, si no es significativa ( $p \text{ value} \leq 0.05$ ) se consideran correlaciones debidas al azar.

### 2.4.3. Relación entre la riqueza, abundancia y factores ambientales

#### 2.4.3.1. Modelo Lineal Generalizado (GLM)

Los modelos lineales generalizados (GLM de las siglas en inglés Generalized Linear Models) son una extensión de los modelos lineales para casos en que la variable respuesta no posea distribución normal (Cayuela, 2010). El objetivo de este análisis es analizar la influencia de los factores ambientales en el número de especies encontradas y la abundancia de las mismas. La siguiente es la fórmula general:

$$y = \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \beta_3 X_1 X_2 + C_0 + C_1$$

Suponiendo que se tiene una variable categórica  $X_1$  y una variable continua  $X_2$ :

$C_0$  Intercepto

$C_0$  modificador del intercepto para nivel 1

$\beta_1$  pendiente del argumento 1

De este análisis se han excluido 46 parcelas por no contar con datos de N y C. Por ser las variables respuesta (riqueza y abundancia) de tipo conteo se usó modelos lineales generalizados con distribución de tipo Poisson. Se detectó la sobredispersión en los modelos de abundancia y fueron corregidos utilizando una distribución binomial negativa y la función log-link del paquete MASS de R (Venables & Ripley, 2002). Para evitar los efectos de la multicolinealidad se seleccionaron variables con baja correlación ( $\leq 7$ ). Para la selección de modelos se utilizó la función dredge del paquete MuMIn (Barton, 2020).

Otros modelos que difieren en Delta <2 se consideraron como modelos óptimos. Se evaluaron las interacciones entre factores ambientales, pero no se consideraron por no ser significativamente diferentes de los modelos simples.

Para evaluar el ajuste de los modelos evaluamos la devianza, una medida de la variabilidad explicada por el modelo, para ello se compararon la devianza del modelo nulo (null deviance) con la devianza residual (residual deviance):

$$D^2 = \frac{\text{Devianza. modelo nulo} - \text{Devianza residual}}{\text{Devianza modelo nulo}} \times 100$$

El mejor modelo se seleccionó con el valor más bajo de AICc (Criterio de información de Akaike corregido). Un menor valor de AIC indica que el modelo se ajusta mejor a los datos experimentales y que es menos complejo. (Burnham & Anderson, 2004)

$$AIC = -2 \log(\mathcal{L}(\theta)) + 2k$$

Pero cuando el número de parámetros (K) es muy elevado en relación con el tamaño de la muestra (n) se aplica el criterio corregido AICc (Burnham & Anderson, 2004):

$$AICc = AIC + \frac{2k(k+1)}{n-K-1}$$

Los pesos de Akaike ( $\omega_{\text{height}}$ ) proporcionan un mecanismo para cuantificar la calidad de la selección de modelos mediante AIC. Estos pesos se basan en las diferencias AIC (delta AIC), que permiten ordenar los modelos según su calidad.

## CAPITULO III

### RESULTADOS Y DISCUSION

#### 3.1. RESULTADOS

##### 3.1.1. Determinación de especies de anuros

Se identificaron 268 individuos pertenecientes a 20 especies de anuros que corresponden a tres familias: Bufonidae, Hemiphractidae y Strabomantidae; y siete géneros. Además, se registraron seis posibles nuevas especies. (Tabla 2).

De las especies registradas, 10 son endémicas del Perú. Según la lista roja de la IUCN (2021) dos especies se encuentran en categorías de amenaza: *Bryophryne cophites* (En Peligro - EN) y *Gastrotheca excubitor* (Vulnerable - VU); además, *Rhinella leptoscelis* y *Psychrophrynella usurpator* son categorizadas como casi amenazadas (NT). Sin embargo, 10 especies están en categoría de preocupación menor (LC)

**Tabla 2**

*Lista de especies de anuros y su estado de conservación presentes en el valle de Kosñipata identificados en el estudio.*

<b>ORDEN / FAMILIA / ESPECIE</b>	<b>Estado de conservación*</b>	<b>Endémico del Perú</b>
<b>ANURA</b>		
<b>Bufonidae</b>		
<i>Rhinella leptoscelis</i>	NT	no
<i>Rhinella cf. manu</i>	LC	sí
<b>Hemiphractidae</b>		
<i>Gastrotheca excubitor</i>	VU	sí
<b>Strabomantidae</b>		
<i>Bryophryne cophites</i>	EN	sí
<i>Bryophryne nubilosus</i>	LC	sí
<i>Bryophryne hanssaueri</i>	LC	sí
<i>Noblella sp</i>	-	-
<i>Noblella spR</i>	-	-
<i>Noblella losamigos</i>	-	sí
<i>Noblella pygmaea</i>	LC	sí
<i>Psychrophrynella spR</i>	-	-
<i>Psychrophrynella spP</i>	-	-
<i>Psychrophrynella usurpator</i>	NT	sí
<i>Oreobates granulosus</i>	LC	sí
<i>Oreobates gemcare</i>	LC	sí
<i>Pristimantis sp.</i>	-	-
<i>Pristimantis toftae</i>	LC	no
<i>Pristimantis danae</i>	LC	no
<i>Pristimantis platydactylus</i>	LC	no
<i>Pristimantis pharangobates</i>	LC	no

*Nota.* EN (En Peligro), NT (Casi amenazado), LC (Preocupación menor) y VU (Vulnerable)

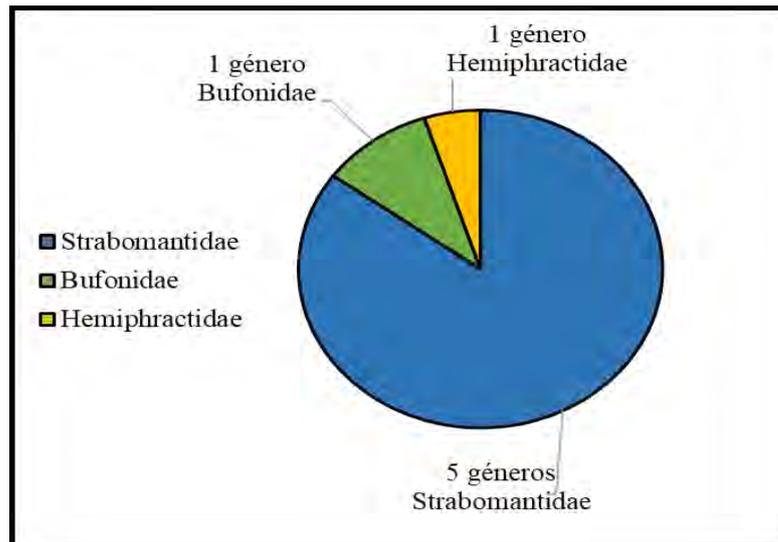
### 3.1.2. Variación de la estructura de anuros a través del gradiente altitudinal

#### 3.1.2.1. Riqueza y abundancia de especies

La familia que presentó la mayor riqueza fue Strabomantidae con 17 especies, distribuidas en cinco géneros (*Bryophryne*, *Noblella*, *Psychrophrynella*, *Oreobates* y *Pristimantis*). La familia Bufonidae conformada por el género *Rhinella*, con dos especies. La familia Hemiphractidae representada por un género (*Gastrotheca*) y una especie (Figura 7). El género con mayor riqueza fue *Pristimantis* (5 especies), seguido por *Noblella* (4 especies), *Bryophryne* y *Psychrophrynella* (3 especies cada una), *Oreobates* y *Rhinella* con 2 especies cada una y *Gastrotheca* con una especie (Figura 8). Entre las especies más abundantes encontramos a *Psychrophrynella usurpator* con 85 individuos representando 31.72% de la abundancia total, *Psychrophrynella spP* con 49 individuos (18.28%) y *Bryophryne cophites* con 35 individuos (13.06%) (Tabla 3). Por otro lado, las especies representadas por un solo individuo (0.75% de la abundancia total) fueron: *Bryophryne hanssaueri*, *Noblella sp.*, *Noblella losamigos*, *Oreobates gemcare* y *Pristimantis platydactylus*.

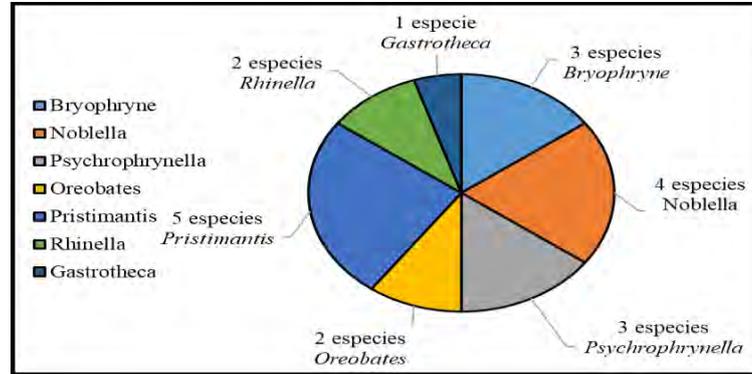
**Figura 7**

*Número de géneros por familia de anuros registrados en el valle de Kosñipata.*



**Figura 8**

*Número de especies por género de anuros registrados en el valle de Kosñipata.*



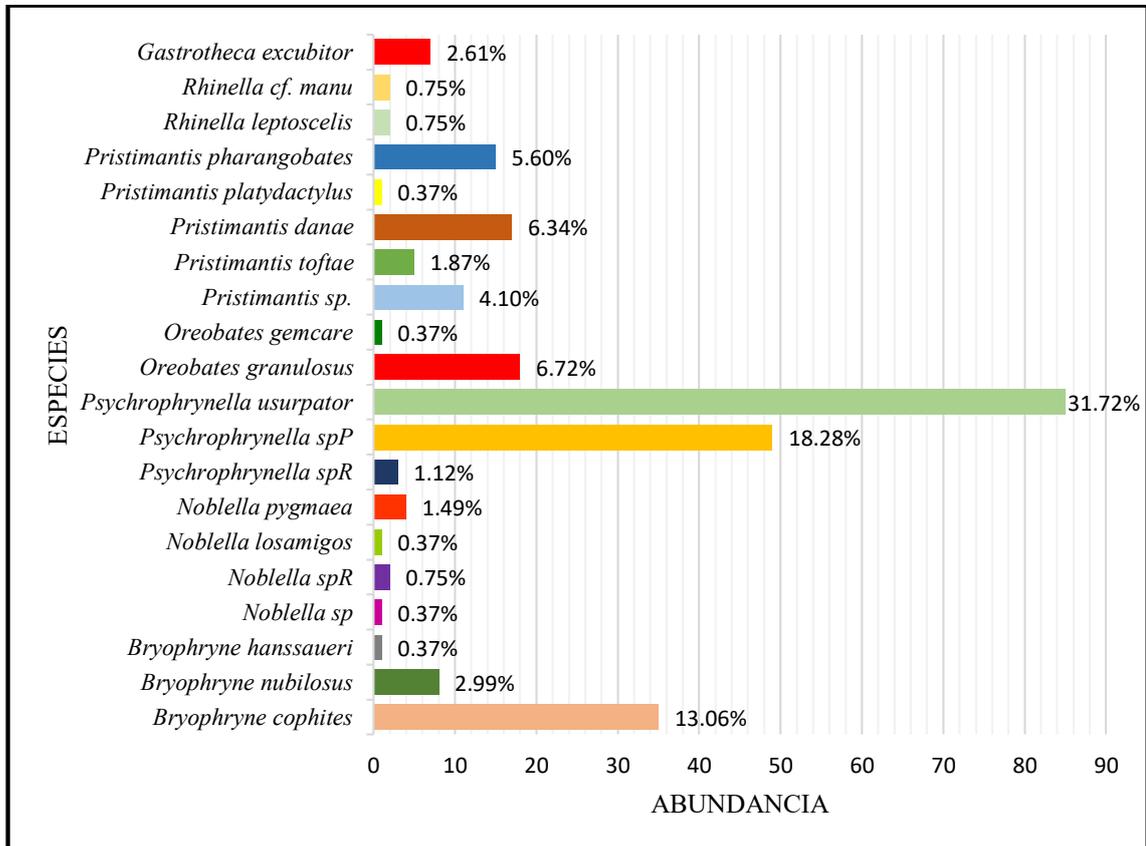
**Tabla 3**

*Riqueza, abundancia y abundancia relativa por familia, géneros y especie de anuros presentes en el valle de Kosñipata*

Familias	Géneros	Especies	Abundancia	AR*
Strabomantidae	Bryophryne	<i>Bryophryne cophites</i>	35	13.06%
		<i>Bryophryne nubilosus</i>	8	2.99%
		<i>Bryophryne hanssaueri</i>	1	0.37%
	Noblella	<i>Noblella sp</i>	1	0.37%
		<i>Noblella spR</i>	2	0.75%
		<i>Noblella losamigos</i>	1	0.37%
		<i>Noblella pygmaea</i>	4	1.49%
	Psychrophrynella	<i>Psychrophrynella spR</i>	3	1.12%
		<i>Psychrophrynella spP</i>	49	18.28%
		<i>Psychrophrynella usurpator</i>	85	31.72%
	Oreobates	<i>Oreobates granulosis</i>	18	6.72%
		<i>Oreobates gemcare</i>	1	0.37%
	Pristimantis	<i>Pristimantis sp.</i>	11	4.10%
		<i>Pristimantis toftae</i>	5	1.87%
		<i>Pristimantis danae</i>	17	6.34%
<i>Pristimantis platydactylus</i>		1	0.37%	
<i>Pristimantis pharangobates</i>		15	5.60%	
Bufonidae	Rhinella	<i>Rhinella leptoscelis</i>	2	0.75%
		<i>Rhinella cf. manu</i>	2	0.75%
Hemiphraactidae	Gastrotheca	<i>Gastrotheca excubitor</i>	7	2.61%
<b>Total</b>	<b>7</b>	<b>20</b>	<b>268</b>	<b>100%</b>

**Figura 9.**

*Abundancia de las especies registradas, mostrando en los índices de las barras el valor de la abundancia relativa.*



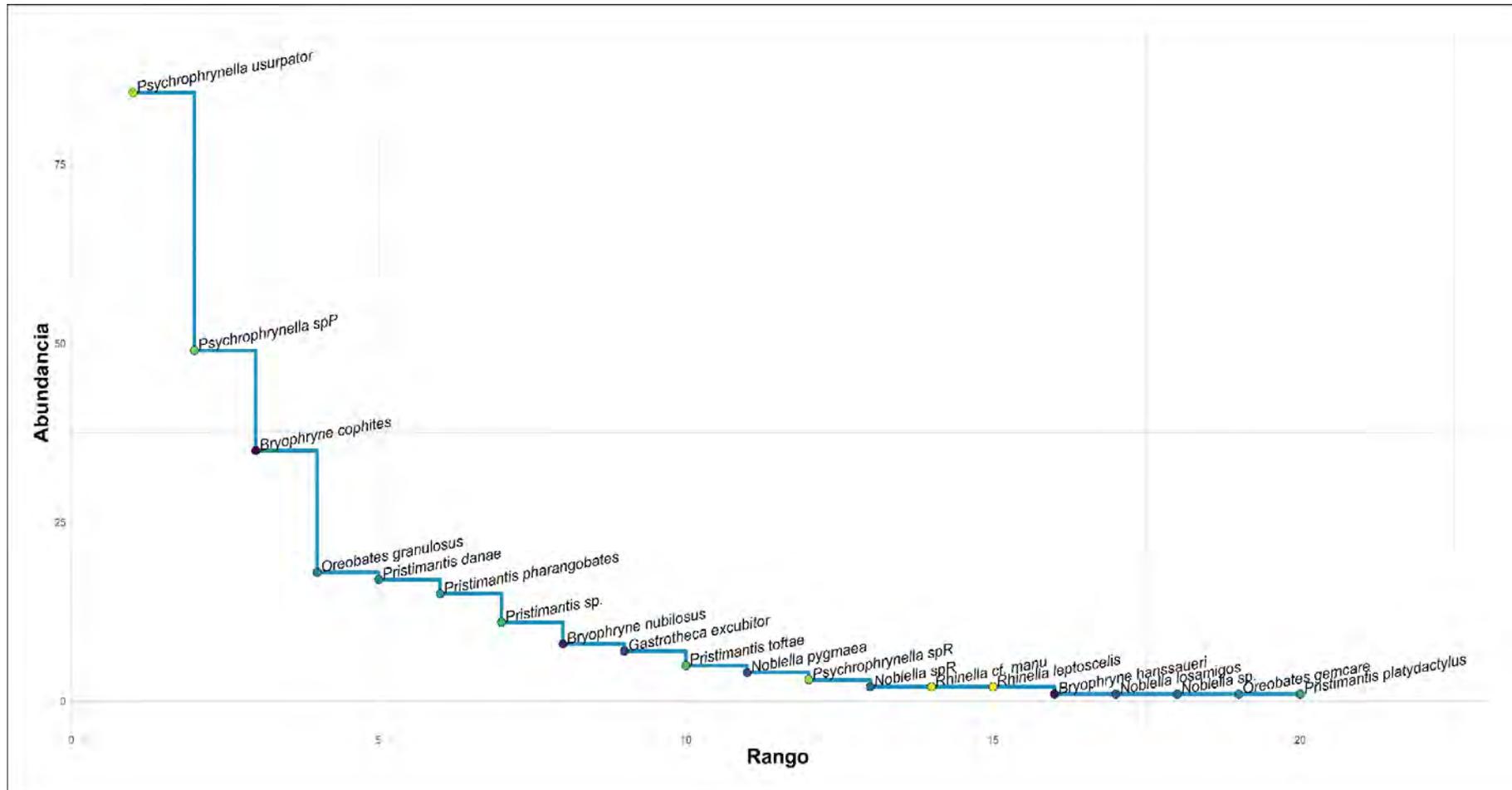
### 3.1.2.2. Curvas rango - abundancia

La especie dominante en toda la comunidad fue *Psychrophrynella usurpator* con 85 individuos; mientras que las especies raras (1 individuo) fueron: *Bryophryne hanssaueri*, *Noblella losamigos*, *Noblella sp.*, *Oreobates gemcare* y *Pristimantis platydactylus* (Figura 10).

La riqueza y abundancia de las especies varía a lo largo del gradiente altitudinal, no todas las especies ocurren de igual manera con la misma abundancia entre los rangos (Figura 11). El gráfico de rango - abundancia mostró que el rango entre 1300 -1600 m de altitud la especie dominante fue *Oreobates granulatus*, cabe resaltar que los 15 individuos fueron registrados en la misma parcela. Mientras, entre 3400 a 3700 m de altitud la especie dominante fue *Bryophryne cophites* con 35 individuos.

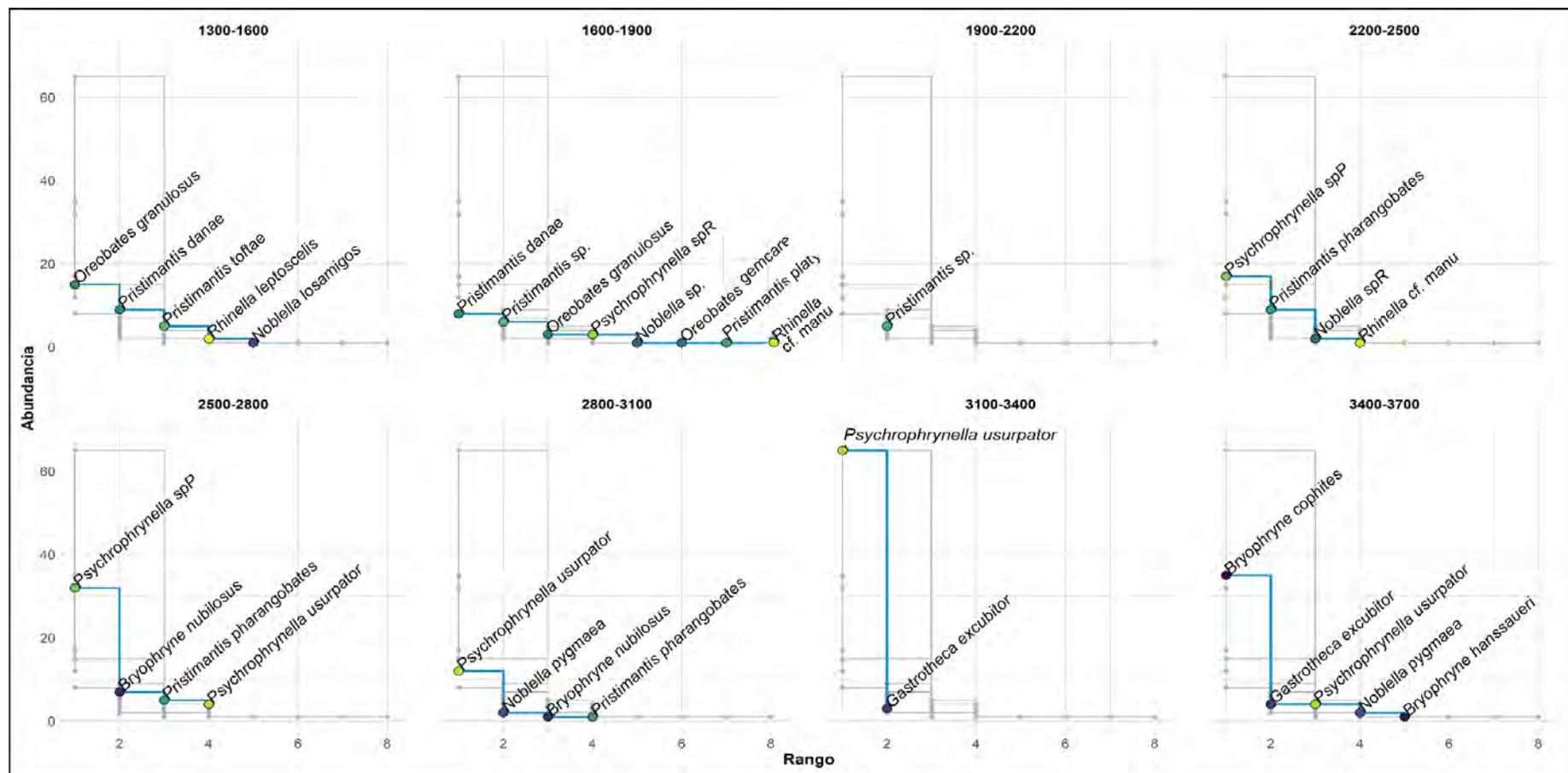
Figura 10

Lista de especies con respecto al rango altitudinal que ocupan en el valle de Kosñipata.



**Figura 11**

Curvas de rango donde se muestra el cambio de composición de especies por rango altitudinal. El eje X ordena las especies en rango y el eje Y representa el estimador de la abundancia.

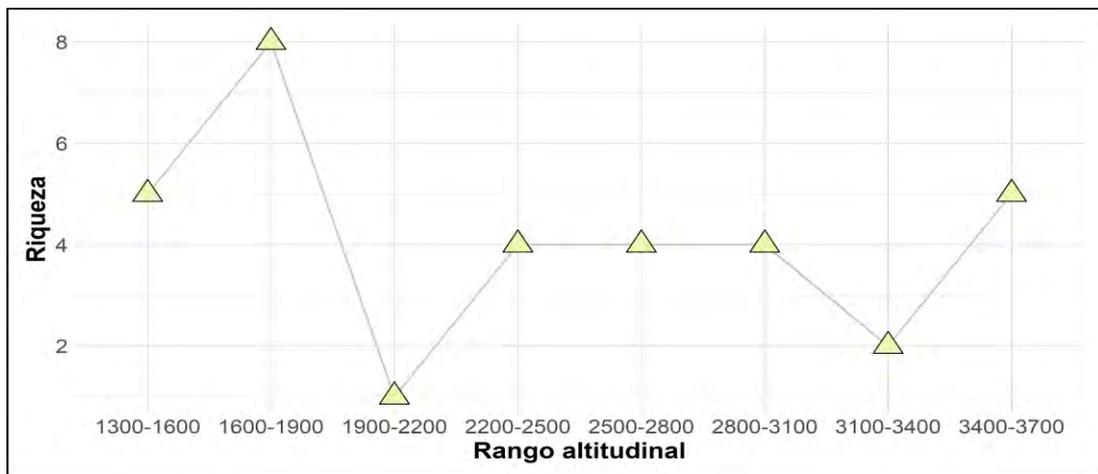


### 3.1.2.3. Riqueza y abundancia a través del gradiente altitudinal

En general, la riqueza de especies presenta un patrón de meseta baja. El mayor número de especies (8 especies) fue registrado en el rango entre 1600-1900 m de elevación (Figura 12). La abundancia presentó una tendencia de incremento con la altura. La mayor abundancia entre los rangos fue registrada entre 3100 y 3400 m (se registraron 68 individuos), seguida del rango entre 2500-2800 m (48 individuos). Tanto abundancia como la riqueza de especies fueron ligeramente inferiores en el rango entre 1900 y 2200.

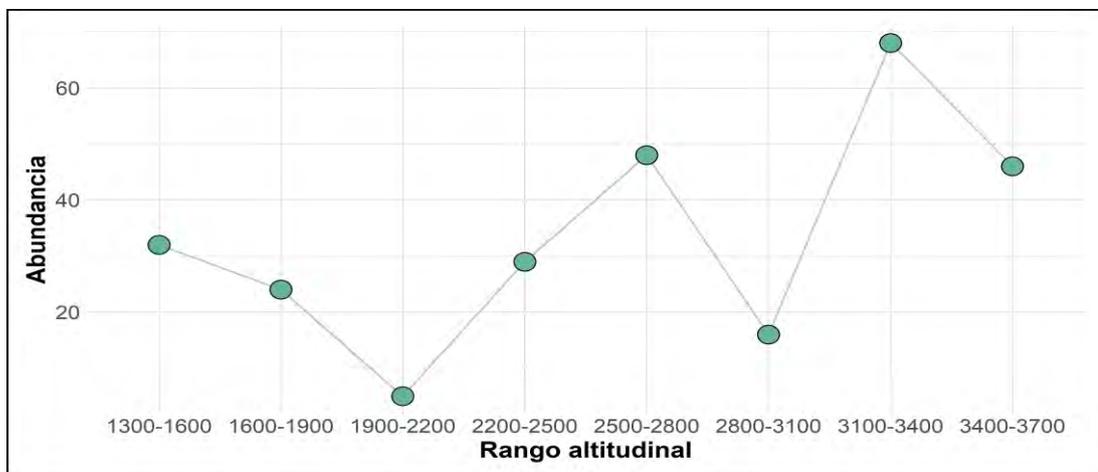
**Figura 12**

*Número de especies registradas por rango altitudinal.*



**Figura 13**

*Número de anuros registrados por rango altitudinal.*



#### 3.1.2.4. Diversidad alfa

En la temporada lluviosa, a lo largo del gradiente el mayor número de especies fue registrado entre 1600 - 1900 m de altitud con ocho especies; aunque disminuyó drásticamente en el rango entre 1900m a 2200m de elevación. La riqueza de anuros sigue un patrón de meseta baja con un pico de elevación media (Figura 14A); es decir, la mayor riqueza se observa en las elevaciones bajas con un pico máximo a más de 300 m en la base de la gradiente. El menor número de especies fue registrado a los 1900 m (1 especie).

**Tabla 4**

*Índices de diversidad alfa por rango altitudinal.*

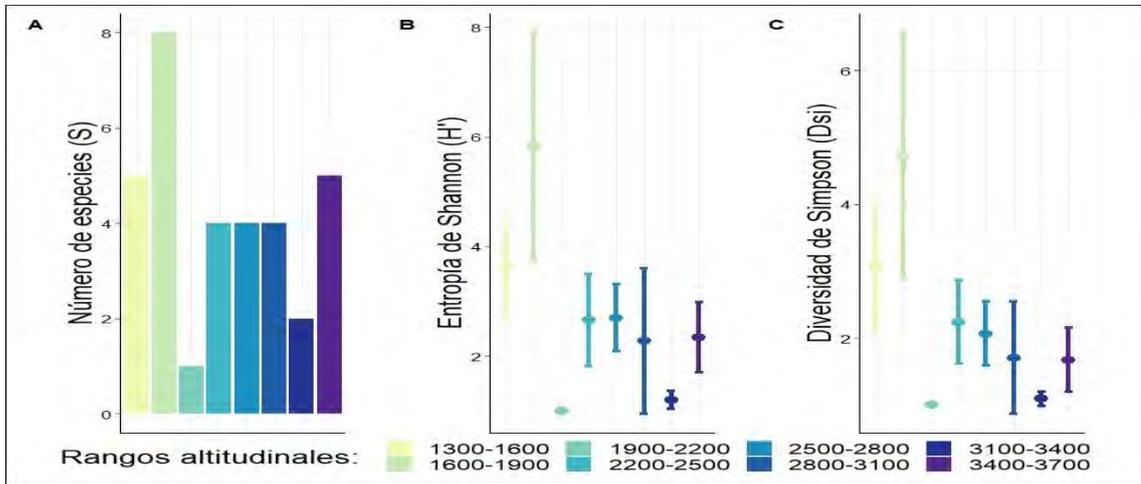
<b>RANGO</b>	<b>S</b>	<b>H'</b>	<b>Dsi</b>
1300-1600	5	3.61	3.05
1600-1900	8	5.83	4.72
1900-2200	1	1	1
2200-2500	4	2.66	2.24
2500-2800	4	2.7	2.07
2800-3100	4	2.28	1.71
3100-3400	2	1.2	1.09
3400-3700	5	2.35	1.68

*Nota.* S= Número de especies, H'= entropía de Shannon y DSi= Diversidad de Simpson

La diversidad alfa (índices de diversidad H' y DSi) presenta su valor máximo en rangos inferiores entre 1300m a 1900m de elevación (ver Tabla 5). En una tendencia similar, el número de especies disminuye con el incremento de la altitud. Los valores de Shannon indica una disminución de la uniformidad con el aumento de la altitud; es decir a mayor altitud hay más especies dominantes.

**Figura 14**

*Índices de diversidad alfa A. Riqueza, B. Entropía de Shannon Winner y C. Diversidad de Simpson por rangos altitudinales.*



### 3.1.2.5. Diversidad beta

La similitud mostró un cambio poco gradual entre los rangos altitudinales altos y bajos. El mayor valor de similitud se encontró entre los rangos 2500 -2800 y 2800-3100 ( $J=0.6$ ); mostrando el mayor número de especies compartidas a diferencia del resto de rangos altitudinales (Tabla 6, ver Figura 15). El rango 1900-2200 comparte una especie únicamente con el rango 1600-1900, y sin compartir ninguna otra con rangos de mayor altitud (Tabla 7).

**Tabla 5**

*Similitud de la composición de especies entre cada rango altitudinal, índice de Jaccard*

	1600-1900	1900-2200	2200-2500	2500-2800	2800-3100	3100-3400	3400-3700
1300-1600	0.18	0	0	0	0	0	0
1600-1900	NA	0.13	0.09	0	0	0	0
1900-2200	-	NA	0	0	0	0	0
2200-2500	-	-	NA	0.33	0.14	0	0
2500-2800	-	-	-	NA	0.6	0.2	0.13
2800-3100	-	-	-	-	NA	0.2	0.29
3100-3400	-	-	-	-	-	NA	0.4

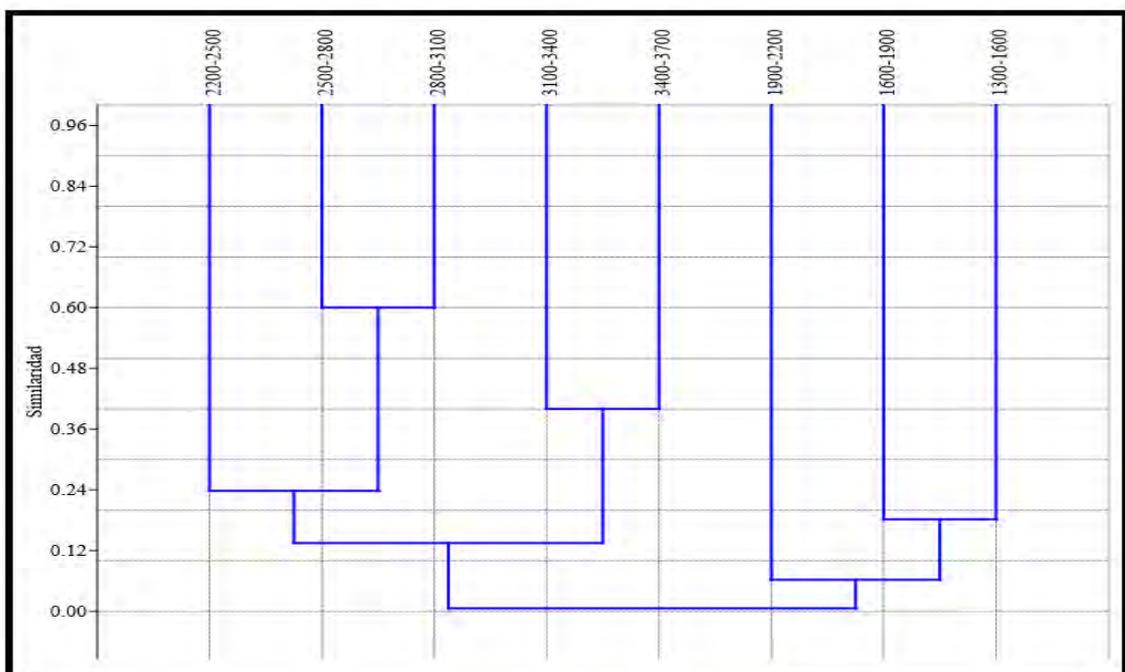
**Tabla 6**

*Especies de anuros registradas en el valle de Kosñipata categorizadas por los rangos altitudinales*

ESPECIES	RANGOS ALTITUDINALES								TOTAL
	1300-1600	1600-1900	1900-2200	2200-2500	2500-2800	2800-3100	3100-3400	3400-3700	
<i>Bryophryne cophites</i>	-	-	-	-	-	-	-	X	1
<i>Bryophryne hanssaueri</i>	-	-	-	-	-	-	-	X	1
<i>Bryophryne nubilosus</i>	-	-	-	-	X	X	-	-	2
<i>Gastrotheca excubitor</i>	-	-	-	-	-	-	X	X	2
<i>Noblella losamigos</i>	X	-	-	-	-	-	-	-	1
<i>Noblella pygmaea</i>	-	-	-	-	-	X	-	X	2
<i>Noblella sp.</i>	-	X	-	-	-	-	-	-	1
<i>Noblella spR</i>	-	-	-	X	-	-	-	-	1
<i>Oreobates gemcare</i>	-	X	-	-	-	-	-	-	1
<i>Oreobates granulosis</i>	X	X	-	-	-	-	-	-	2
<i>Pristimantis danae</i>	X	X	-	-	-	-	-	-	2
<i>Pristimantis pharangobates</i>	-	-	-	X	X	X	-	-	3
<i>Pristimantis platydactylus</i>	-	X	-	-	-	-	-	-	1
<i>Pristimantis sp.</i>	-	X	X	-	-	-	-	-	2
<i>Pristimantis toftae</i>	X	-	-	-	-	-	-	-	1
<i>Psychrophrynella spP</i>	-	-	-	X	X	-	-	-	2
<i>Psychrophrynella spR</i>	-	X	-	-	-	-	-	-	1
<i>Psychrophrynella usurpator</i>	-	-	-	-	X	X	X	X	4
<i>Rhinella cf. manu</i>	-	X	-	X	-	-	-	-	2
<i>Rhinella leptoscelis</i>	X	-	-	-	-	-	-	-	1
<b>Total</b>	<b>5</b>	<b>8</b>	<b>1</b>	<b>4</b>	<b>4</b>	<b>4</b>	<b>2</b>	<b>5</b>	<b>33</b>

**Figura 15**

*Clúster de similitud entre los rangos altitudinales con valores del índice de Jaccard*



### 3.1.3. Variación de factores ambientales a través del gradiente altitudinal

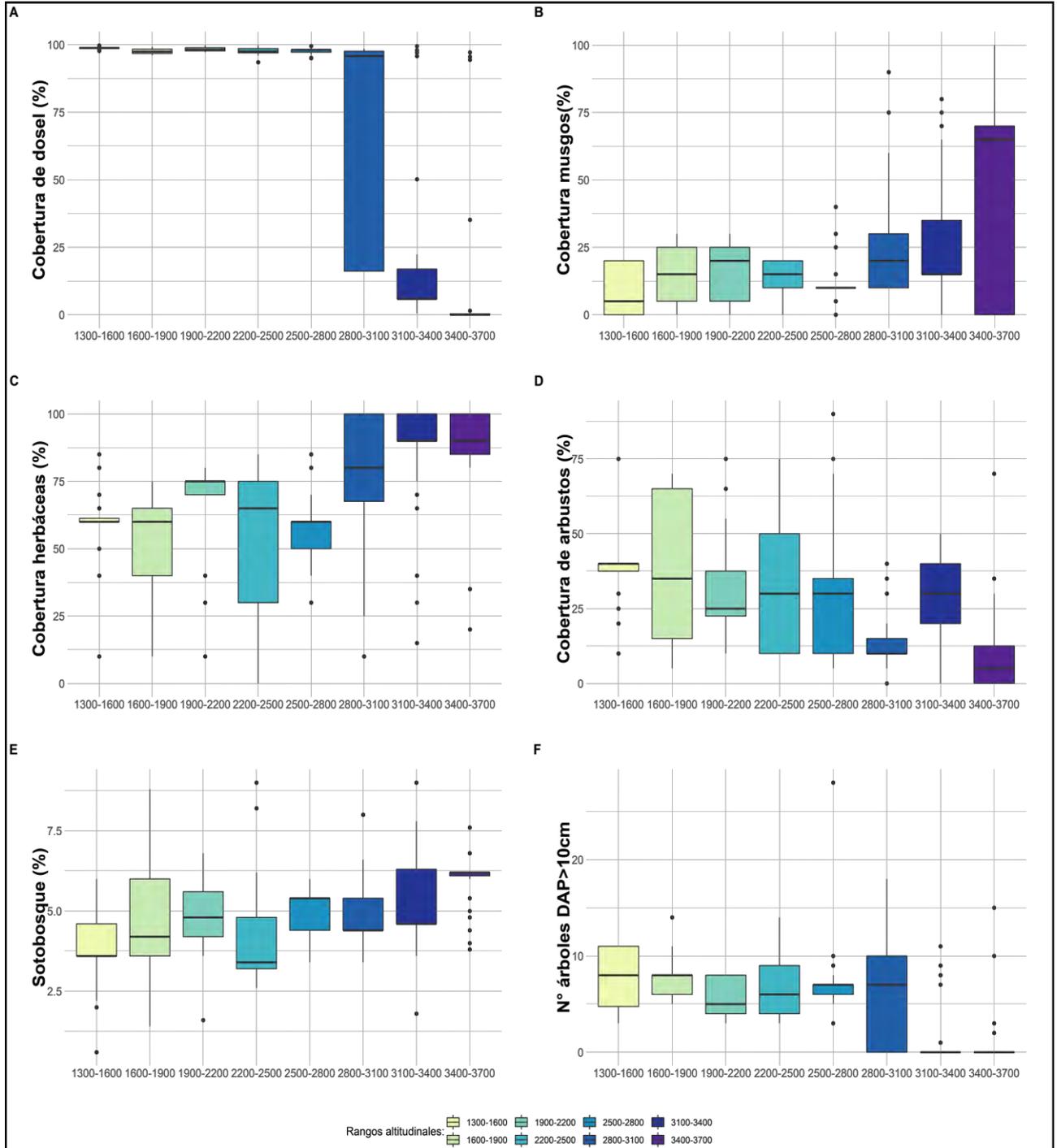
Comparando la cobertura de dosel en rangos más altos en promedio 98.67 ( $97.71 \pm 99.68$ ) hasta los 3400m: mientras disminuye hasta 27.0% ( $0 \pm 97.19$  y DS= 42.61) en rangos entre 3400-3700; esto debido a que el número de árboles disminuye con la elevación y los árboles en pajonal son más pequeños. Los valores de cobertura de musgos terrestres a rangos más alto presentan mayor cobertura. La cobertura de herbáceas no presentó un patrón claro entre los rangos altitudinales. La cobertura de arbustos disminuye gradualmente al aumentar la altura 36.2% (a 1300-1600) hasta 17.5% (a 3400-3700). Las profundidades de la hojarasca también disminuyen con la altitud, aunque en rangos medios presenta los valores más altos 15.58 (DS 5.60) (ver Figura 16).

En general, las muestras de suelo presentaron un pH ligeramente ácido. El valor de pH más bajo (pH =4.6, suelo muy ácido) fue registrado en el rango altitudinal entre 2800 – 3100. La mayoría de las muestras presentaron suelos medianamente húmedos con valores máximos de hasta el 100 %. La disponibilidad de nitrógeno (%N) aumenta en lugares de mayor elevación. Por otro lado, la concentración de %C en el gradiente aumenta con la elevación. Los diagramas de cajas (Figura 17), nos permiten visualizar si las variables ambientales evaluadas reflejaron cambios a lo largo del gradiente altitudinal. Los valores de temperatura ambiental, Nitrógeno y Carbono del suelo presentaron variaciones visualmente evidentes. La prueba de Kruskal Wallis demostró que todas las variables ambientales presentaron diferencias significativas ( $p < 0.05$ ) entre los rangos altitudinales. Sin embargo, la variable de humedad ambiental fue el parámetro que tuvo menor diferencia entre los rangos.

La humedad relativa ambiental fue constante a través del gradiente altitudinal. La mayoría de rangos presentaron una variación entre 80% al 90% de humedad relativa. En las partes bajas del gradiente altitudinal se registraron datos de temperaturas altas que disminuyen a medida que aumenta la altitud. Esta vertiente montañosa comprende pendientes ligeras ( $2^\circ$ ), moderadas ( $20^\circ$ ) y muy fuertes ( $40^\circ$ ). En general, las elevaciones bajas poseen mayor grado de inclinación y disminuye con la elevación.

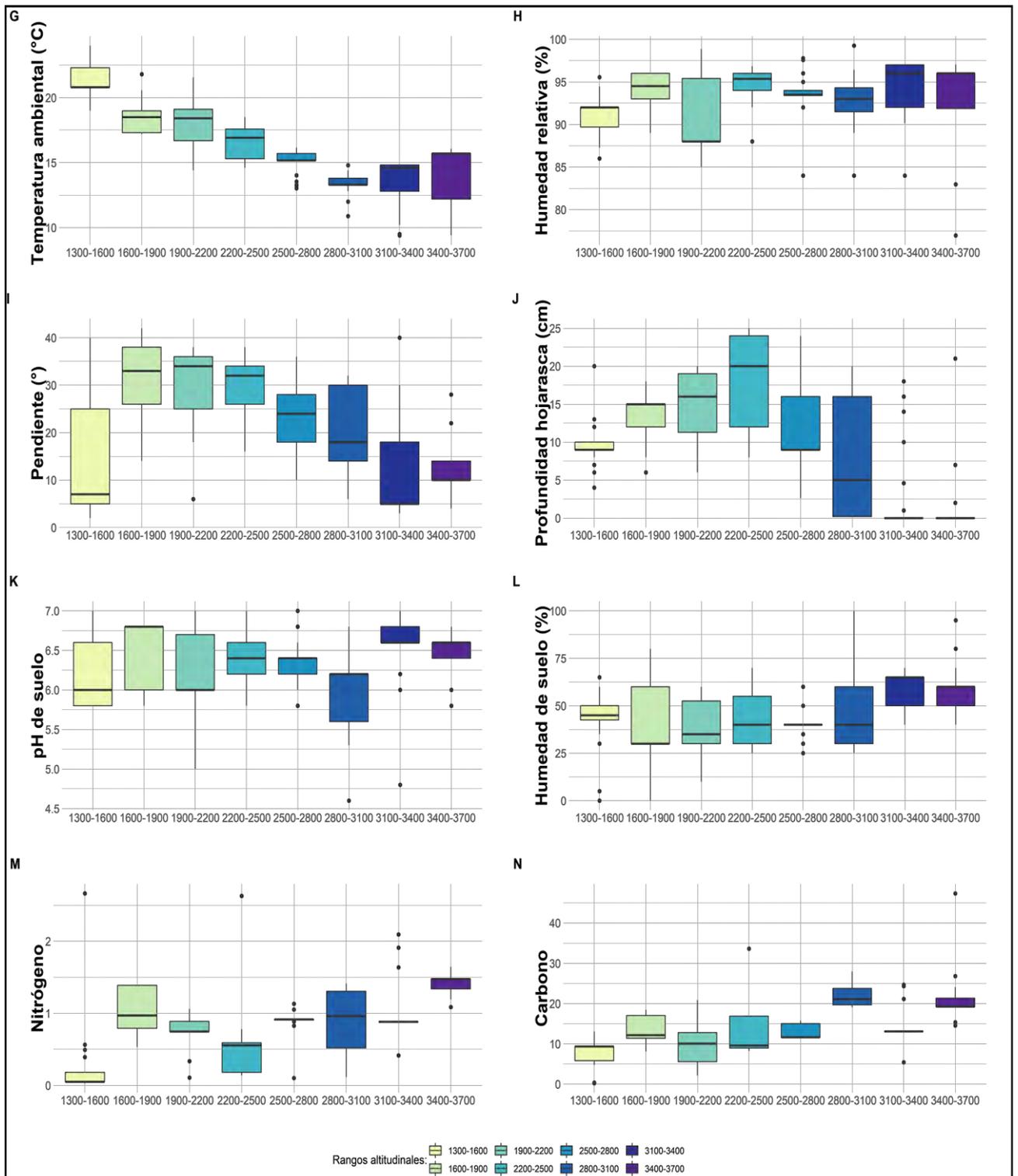
**Figura 16**

*Diagramas de cajas de los factores ambientales evaluadas: A. Cobertura dosel (%), B. Cobertura de musgos (%), C. Cobertura de herbáceas (%), D. Cobertura de arbustos (%), E. Sotobosque (%), F. Número de árboles con DAP >10cm.*



**Figura 17**

Diagramas de cajas de los factores ambientales evaluadas: G. Temperatura ambiental (°C), H. Humedad relativa ambiental (%), I. Pendiente (°), J. Profundidad hojarasca (cm), K. pH del suelo, L. Humedad del suelo (%), M. % nitrógeno del suelo y N. % carbono de suelo



### 3.1.3.1. Análisis de componentes principales (ACP)

Los primeros dos ejes representaron el 45.1% de la variación ambiental; 24.2% explicado por el primer eje (autovalor = 3.38) y el 18.3% explicado por el PC2 (autovalor = 2.63) (Figura 18, Tabla 9). Las variables más importantes en el PC1 son: la cobertura del dosel, cobertura de musgos, profundidad de hojarasca, pendiente con valores similares entre ellos; es decir esta primera componente recoge información sobre las características del ambiente. En la segunda componente PC2 los factores que tienen mayor peso son: pH y carbono que corresponden a características del suelo. Como lo muestra la Figura 18 los rangos en elevaciones superiores se caracterizaron por un mayor pH del suelo y mayor humedad; mientras que los sitios de menor elevación tenían copas más altas, más copas cubierta y vegetación de sotobosque más densa y mayor pendiente.

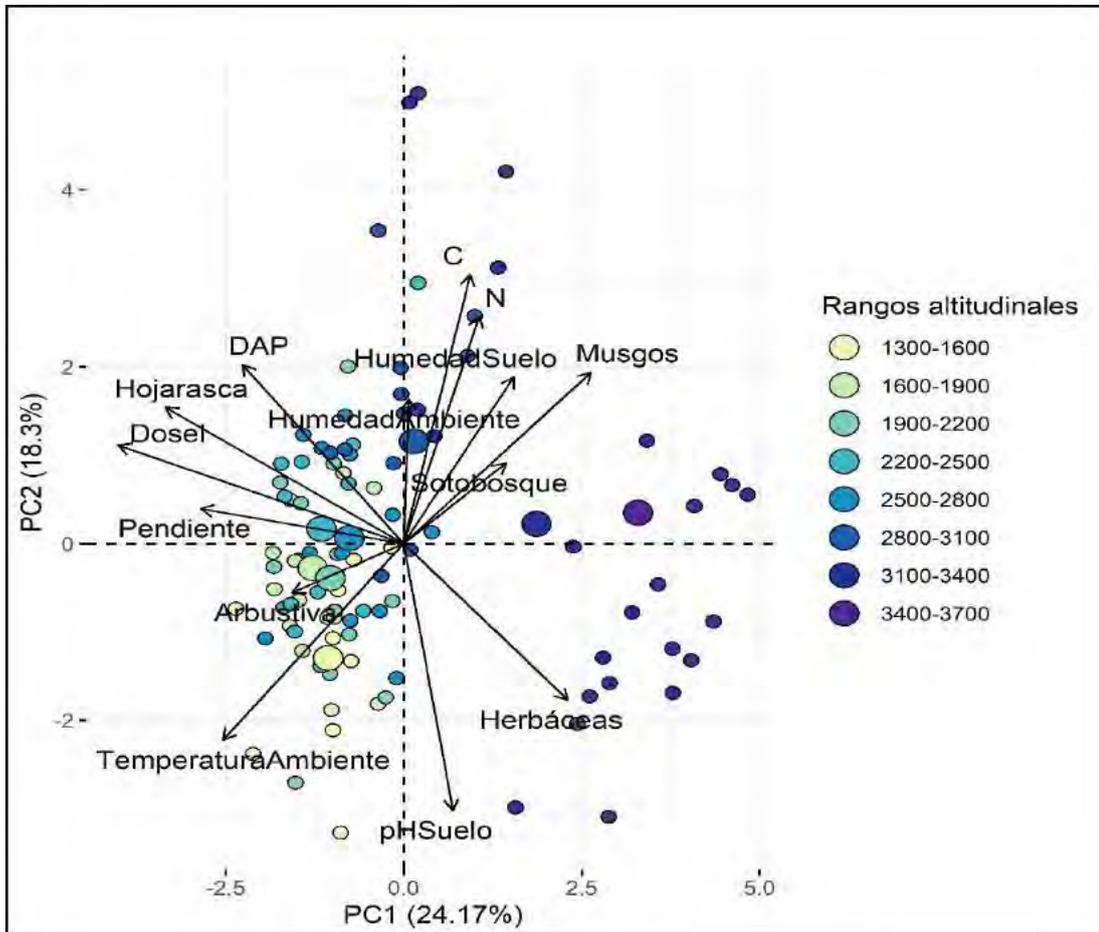
**Tabla 7**

*Factores de carga de PC1 y PC2 del análisis de componentes principales, autovalores y porcentajes de explicación.*

<b>Variables ambientales</b>	<b>PC1</b>	<b>PC2</b>
Cobertura del dosel (%)	<b>-0.48</b>	0.15
Cobertura de musgos (%)	<b>0.32</b>	0.27
Cobertura de herbáceas (%)	0.28	-0.25
Cobertura de arbustiva (%)	-0.19	-0.08
Profundidad hojarasca (cm)	<b>-0.40</b>	0.21
Árboles con DAP >10cm	-0.27	0.28
Pendiente (°)	<b>-0.34</b>	0.05
Temperatura ambiental (C°)	-0.31	-0.31
Humedad ambiental (%)	0.01	0.23
Sotobosque (%)	0.17	0.13
pH del suelo	0.08	-0.42
Humedad del suelo (%)	0.19	0.26
Nitrógeno del suelo	0.13	0.36
Carbono de suelo	0.11	0.42
Autovalor	3.38	2.56
% de Explicación	24.17	18.3

**Figura 18**

*Análisis de componentes principales (ACP) con los resultados de los dos primeros componentes. Los rangos altitudinales representados por puntos.*

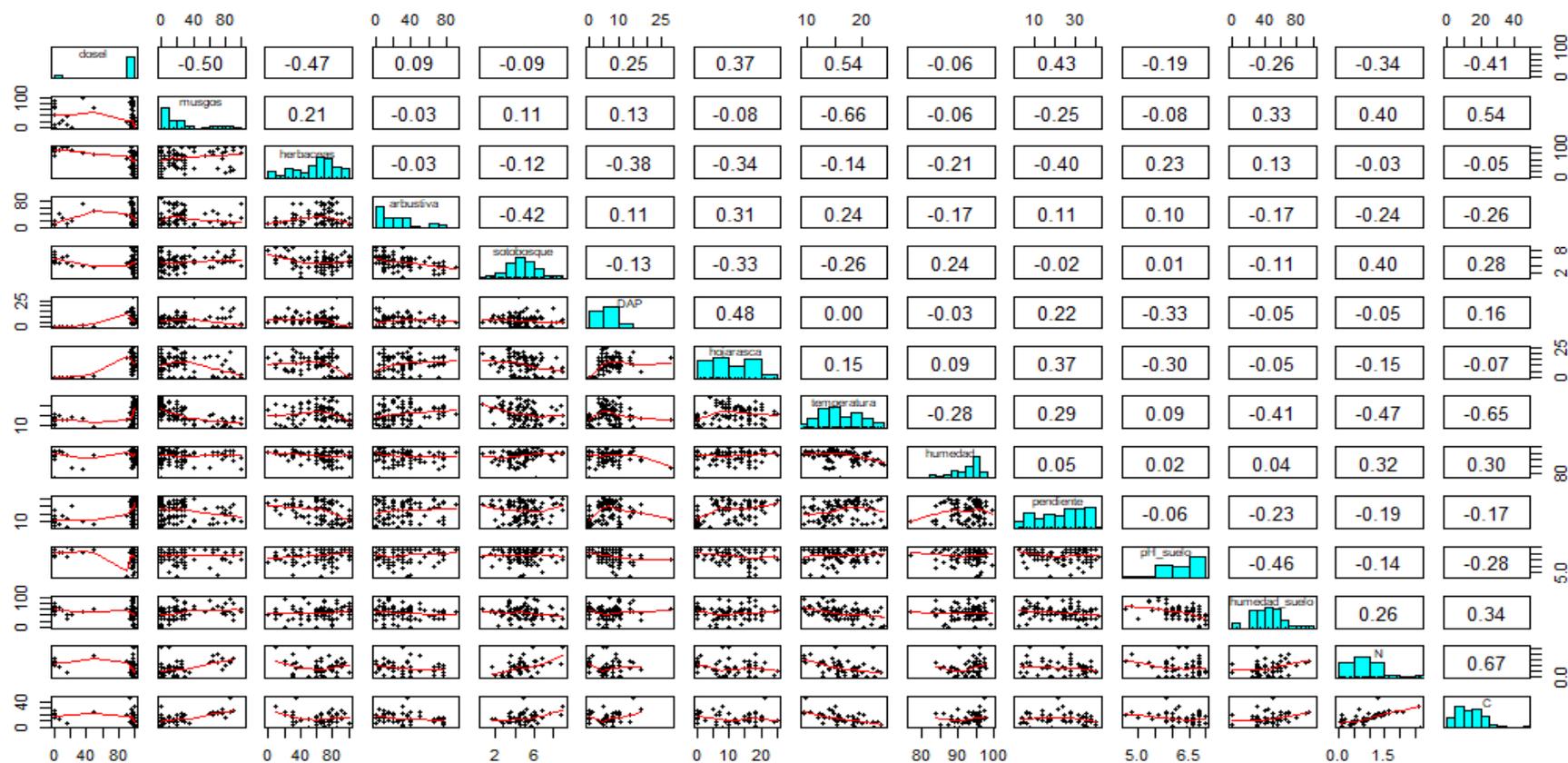


### 3.1.3.2. Análisis de correlación

Existe una correlación negativa entre la cobertura del dosel y la cobertura de musgos ( $r = -0.50$ ,  $p.value \leq 0.05$ ) con un tamaño de efecto pequeño ( $r^2 = 0.25$ ). La matriz (Figura 19), muestra correlaciones significativas entre los factores ambientales cobertura de dosel y temperatura ambiente, y cobertura de musgos y carbono del suelo con coeficientes de tamaño de efecto pequeño ( $r = 0.54$  y  $p.value \leq 0.05$  para ambos factores). La cobertura de musgos y la temperatura ambiente presentan una correlación negativa con un tamaño de efecto mediano ( $r = -0.66$ ,  $r^2 = 0.43$  y  $p.value \leq 0.05$ ). Los factores ambientales nitrógeno del suelo y carbono del suelo presentan una correlación positiva con tamaño de efecto mediano ( $r = 0.67$ ,  $r^2 = 0.44$  y  $p.value \leq 0.05$ ).

**Figura 19**

*Matriz de correlación entre factores ambientales,*



*Nota.* La diagonal principal muestra histogramas de cada factor, en la parte inferior de la diagonal se ubican los gráficos de dispersión y en la parte superior los coeficientes de correlación.

### 3.1.4. Relación entre la riqueza, abundancia y factores ambientales

#### 3.1.4.1. Factores ambientales que determinan la riqueza

De los 14 factores ambientales analizados el modelo con los factores: pH del suelo y Nitrógeno del suelo (AICc= 129.170) fue el más parsimonioso y explicó el 21.9% de la variación de la riqueza. Todas las variables explicativas obtuvieron un valor de  $p \leq 0.05$ . Podría decirse que existe un control de abajo hacia arriba; es decir las características edáficas del suelo podrían regular la riqueza de consumidores secundarios que se alimentan de artrópodos de hojarasca como los anuros.

**Tabla 8**

*Modelos lineales generalizados utilizados para analizar la influencia de los factores ambientales en la riqueza de anuros.*

Fórmula	df*	AICc***	Delta	Weight
riqueza ~ pH suelo + Nitrógeno del suelo	3	129.170	0.000	0.086
riqueza ~ pH suelo	2	129.297	0.128	0.080
riqueza ~ humedad ambiental + pH suelo	3	129.414	0.245	0.076
riqueza ~ profundidad hojarasca + pH suelo + Nitrógeno suelo	4	129.608	0.439	0.069
riqueza ~ profundidad hojarasca + pH suelo + Nitrógeno suelo + humedad del suelo	5	129.658	0.488	0.067
riqueza ~ profundidad hojarasca + pH suelo + Nitrógeno suelo + cobertura de arbustos	5	129.859	0.689	0.061
riqueza ~ pH suelo + cobertura de arbustos	3	130.194	1.024	0.051
riqueza ~ profundidad hojarasca + pH suelo + Nitrógeno suelo + humedad del suelo	5	130.220	1.051	0.051
riqueza ~ humedad ambiental + pH suelo + Nitrógeno suelo	4	130.278	1.108	0.049
riqueza ~ pH suelo + Cobertura de arbustos	3	130.338	1.169	0.048
riqueza ~ humedad suelo + pH suelo	3	130.510	1.340	0.044
riqueza ~ profundidad hojarasca + pH suelo + Nitrógeno suelo + humedad del suelo + cobertura arbustiva	6	130.549	1.379	0.043
riqueza ~ profundidad hojarasca + pH suelo + humedad del suelo	4	130.554	1.385	0.043
riqueza ~ profundidad hojarasca + pH suelo + cobertura arbustiva	4	130.672	1.502	0.040

*Nota.* df\*=número de parámetros, AICc\*\*= Índice de Akaike desde el más parsimonioso, Weight = pesos de los modelos.

### 3.1.4.2. Factores ambientales que determinan la abundancia

Los modelos que se muestran en la tabla 11 representan los 15 mejores modelos con AICc más bajo entre todas las combinaciones de modelos generadas y w2. Siendo la cobertura del dosel y la cobertura de musgos los factores ambientales que explican el 16.4% de la variación de la abundancia. Todas las variables explicativas obtuvieron un valor de  $p < 0.05$ . La cobertura de dosel y la cobertura de musgos terrestres influyen de manera indirecta en la distribución de los anfibios terrestres, puesto que determinan la abundancia de recursos alimenticios y regulan la pérdida de humedad sirviendo como refugios.

**Tabla 9**

*Modelos lineales generalizados utilizados para analizar la influencia de los factores ambientales en la abundancia de anuros*

<b>Fórmula</b>	<b>df*</b>	<b>AICc**</b>	<b>Delta</b>	<b>Weight</b>
<b>abundancia ~ cobertura dosel + cobertura musgos</b>	4	<b>230.310</b>	<b>0.000</b>	<b>0.123</b>
abundancia ~ pH suelo + pendiente	4	230.327	0.017	0.122
abundancia ~ pendiente + número árboles con DAP >10	4	231.182	0.872	0.080
abundancia ~ cobertura dosel	3	231.333	1.023	0.074
abundancia ~ humedad ambiental + pH suelo + pendiente	5	231.454	1.144	0.069
abundancia ~ cobertura herbáceas + cobertura musgos + cobertura de dosel	5	231.526	1.216	0.067
abundancia ~ pH suelo + pendiente + número árboles con DAP >10	5	231.859	1.549	0.057
abundancia ~ profundidad hojarasca + pendiente	5	231.871	1.561	0.056
abundancia ~ número árboles con DAP >10	3	231.893	1.583	0.056
abundancia ~ pendiente + cobertura musgos + cobertura de dosel	5	232.023	1.713	0.052
abundancia ~ pendiente + pH suelo + cobertura musgos	5	232.079	1.769	0.051
abundancia ~ pendiente	5	232.108	1.798	0.050
abundancia ~ cobertura dosel + cobertura musgos + humedad ambiental	3	232.139	1.829	0.049
abundancia ~ pendiente + pH suelo + cobertura herbáceas	5	232.205	1.895	0.048
abundancia ~ cobertura musgos + número de árboles con DAP >10 + pendiente	5	232.289	1.979	0.046

*Nota.* df\*=número de parámetros, AICc\*\*= Índice de Akaike desde el más parsimonioso, Weight = pesos de los modelos

### 3.2. DISCUSIÓN

Se han registrado 20 especies de anuros correspondientes a tres familias y 7 géneros, de las cuales seis son nuevas especies para la ciencia (*Rhinella cf. manu*, *Noblella sp*, *Noblella spR*, *Psychrophrynella spR*, *Psychrophrynella spP* y *Pristimantis sp*). Catenazzi, Lehr & von May (2013), evaluaron la diversidad de la herpetofauna en un rango de elevación desde los 1000 m a 4000 m de altitud en el Parque Nacional del Manu y registraron 46 especies de anuros. El número de sus registros es mayor debido a que contabilizaron especies de diferentes tipos de hábitos: entre ellas especies arborícolas del género: *Hyloscirtus*, *Nymphargus*, *Centrolene*; y especies semi acuáticas del género: *Telmatobius*. Otro factor importante que afecta al número de registros es la presencia del hongo patógeno *Batachochytrium dendrobatidis*, cuya propagación produjo una disminución de la riqueza y abundancia y la desaparición de anuros terrestres en el área de estudio como *Atelopus erythropus*, el cual no fue visto en los diez últimos años (Catenazzi, A. et al., 2011). Aunque el valor de riqueza puede verse influido por el esfuerzo de muestreo (números de parcelas y tiempo), las curvas de acumulación por estimadores no paramétricos Chao y Bootstrap representaron una eficiencia de muestreo del 81.8% y 90.9% respectivamente; lo que indica que el inventario está completo en relación a las especies esperadas en el valle de Kosñipata.

Los resultados del presente estudio apoyan la hipótesis de que la riqueza disminuye a medida que aumenta la elevación, describiendo un patrón de meseta baja de pico de elevación media. Siendo el rango altitudinal con mayor riqueza entre 1600 m a 1900m de elevación. Estudios similares realizados en los trópicos concuerdan con estos resultados. Un estudio en el gradiente altitudinal de Palo Verde (3 m de altitud) hasta Monteverde (1670 m) en Costa Rica concluyó que la riqueza y la elevación se correlacionaron negativamente (Fauth et al., 1989). La tendencia de la disminución del número de especies con la altura coincide con los resultados de parcelas en investigaciones anteriores en la misma área de estudio (Catenazzi & Rodríguez, 2001). Nuestros resultados muestran también que la abundancia presentó un patrón inverso a la riqueza, el número de individuos aumenta con la altitud. Patrón similar ha sido reportado en Colombia, donde la abundancia de *Pristimantis renjiformis* se correlacionó positivamente con el gradiente altitudinal (Pérez & Medinal, 2018). En contraste con el patrón encontrado por

Villacampa et al. (2019), para el gradiente de la cordillera de Piñi Piñi, donde la abundancia presenta una tendencia decreciente con la altitud.

Los índices de diversidad alfa y beta muestran gran diferencia a través del gradiente. Los índices de diversidad alfa disminuyeron con el aumento de la altitud, lo que indica que la dominancia aumenta con la altitud y por tanto la uniformidad disminuyen. Los rangos altitudinales tienen una baja similitud entre sí. En las áreas de mayor altitud se encuentran especies que no se encuentran en partes bajas, son áreas con especies dominantes como: *Bryophryne cophites* y *Psychrophrynella usurpator* restringidas a rangos altitudinales altos. En las parcelas de rangos altitudinales más bajos la comunidad de anuros es mucho más uniforme, aunque en el rango entre 1600-1900 m hubo una disminución importante de la riqueza de anuros, esta disminución abrupta de la riqueza podría deberse a lo casi inaccesible del área y sus escarpadas pendientes, lo que dificultó la ubicación de las parcelas.

Los factores ambientales variaron significativamente a lo largo de la gradiente altitudinal. Rapp (2010) describió de manera detallada el microclima del gradiente altitudinal desde los 950 m hasta los 3400 m de altitud en el Parque Nacional del Manu. Sus resultados describen que la temperatura disminuye con la elevación y la humedad se mantiene constante sobre todo en la época lluviosa, conclusiones a las que también se llegaron en el presente estudio. Nuestros resultados demostraron que el C y N aumentaron significativamente con una elevación creciente; mientras el pH del suelo disminuía con la elevación, conclusiones a las que también llegó Whitaker (2014) en una evaluación de las propiedades abióticas del suelo en un 194 a 3400 m.s.n.m en los Andes peruanos.

Los resultados del presente estudio muestran que los rangos en elevaciones superiores se caracterizaron por un mayor pH del suelo y mayor humedad; mientras que los sitios de menor elevación tenían copas más altas, más copas cubiertas y vegetación de sotobosque más densa y mayor pendiente.

Aunque algunos estudios en regiones tropicales han encontrado que la riqueza de especies está limitada principalmente por restricciones climáticas asociadas a la precipitación y la temperatura ambiental (Calambás, 2017; Vasconcelos *et al.*, 2010) en el presente estudio los mejores modelos que explican la abundancia de anuros representan características estructurales del hábitat. Se ha documentado que aspectos de la vegetación como la

cobertura de musgos y cobertura de dosel conceden a los hábitats una estructura con mayor recursos alimenticios, evitan la elevación de la temperatura del suelo y al mismo tiempo la pérdida de humedad (Blair & Doan, 2009; Fauth *et al.*, 1989). Los resultados guardan sentido debido que las especies en estudio son más de tipo terrestre. También se concluyó que en el valle de Kosñipata la riqueza de anuros fueron asociados al pH del suelo. Otros autores evaluaron el efecto del pH del suelo, contenido de Fosforo (P), relación C:P en la riqueza o abundancia de anfibios (von May, 2009). En un estudio en Nueva York, Wyman & Jancola (1922) concluyen que la distribución de 11 especies de anfibios está limitada por el pH.

El valle en conjunto alberga comunidades de anuros de gran diversidad y valor para la conservación. Es complejo definir la respuesta de la riqueza o la abundancia a factores ambientales a lo largo de gradientes de elevación. Es posible que hay otros factores que no fueron considerados como la disponibilidad de presas, depredación o la temporalidad afecten estas relaciones. El estudio de otros procesos que actúan de manera sinérgica podría ayudar a entender de mejor manera el comportamiento de los patrones de riqueza y composición de las comunidades; por ejemplo, el caso de dinámicas metapoblacionales, competencia y otras interacciones bióticas (Terborgh, 1977; Lomolino, 2001; McCain, 2010). Análisis adicionales que consideren la evaluación de estos procesos podrían revelar nueva información sobre los factores que influyen y moldean la distribución de la riqueza de las especies en clinas de elevación.

## CONCLUSIONES

1. Se determinaron de 20 especies de anuros terrestres correspondientes siete géneros (*Rhinella*, *Gastrotheca*, *Bryophryne*, *Noblella*, *Psychrophrynella*, *Oreobates* y *Pristimantis*) y tres familias (Bufonidae, Hemiphractidae y Strabomantidae). Se registraron seis especies nuevas de anuros para la ciencia.
2. La familia Strabomantidae resultó ser la más rica con 17 especies y 257 individuos. El género *Pristimantis* fue el más rico con 5 especies. La especie *Psychrophrynella usurpator* fue la más abundante con 85 individuos (31.7%). Los resultados apoyan la hipótesis que el número de especies disminuye con el aumento de la elevación; mientras la abundancia de anuros terrestres aumenta con la elevación.
3. Los rangos en elevaciones superiores se caracterizaron por un mayor pH del suelo y mayor humedad; mientras que los sitios de menor elevación tenían copas más altas, más copas cubierta y vegetación de sotobosque más densa, mayor pendiente, mayor hojarasca.
4. Los resultados de los modelos lineales muestran que los factores que explican la variabilidad de la riqueza son el pH y % de nitrógeno del suelo. Por otro lado, el mejor modelo explicativo para la abundancia incluye la cobertura del dosel y la cobertura de musgos. Todas las variables explicativas obtuvieron un valor de  $P < 0.05$ .

## RECOMENDACIONES

1. Se recomienda realizar más estudios evaluando otros factores ambientales que ayudarían a explicar la distribución de la riqueza y abundancia a largo de un gradiente como: el tipo de bosque, disponibilidad de presas y proximidad a los cuerpos de agua. Las evaluaciones podrían también ser específicas con el estudio de un solo género o especie y a escalas mucho más pequeñas. Esto permitirá extraer conclusiones mucho más novedosas sobre la heterogeneidad del hábitat y los patrones de la estructura comunitaria de anfibios.
2. Se podrían realizar más estudios evaluando otros ecosistemas y con otras especies para determinar los factores específicos que influyen en el desarrollo y distribución de las especies. De esa manera se podría establecer mejor las relaciones causa-efecto que pueden originarse entre los factores ambientales, la abundancia y riqueza de anfibios.

## BIBLIOGRAFÍA CONSULTADA

- AmphibiaWeb. (5 Jun 2021). Familia Strabomantidae. University of California, Berkeley, CA, USA. Recuperado de <<https://amphibiaweb.org>>.
- Anderson, E. P., Marengo, J. R., Halloy, S., Villalba, R., Young, B., Cordero, D., Gast & F., Ruiz, D. (2011). Consequences of Climate Change for Ecosystems and Ecosystem Services in the Tropical Andes. En S. K. Herzog (Ed.), *Climate change and biodiversity in the tropical Andes* (pp. 1–19). Inter-American Institute for Global Change Research (IAI) and Scientific Committee on Problems of the Environment
- Angulo, A., Rueda Almonacid, J. V., Rodríguez Mahecha, J. V., & La Marca, E. (Ed.). (2006). Técnicas para el inventario y muestreo de anfibios. En *Técnicas de inventario y monitoreo para los anfibios de la región tropical andina* (Vol.2, pp. 135–153). Panamericana Formas e Impresos S.A., Bogotá D.C. (SCOPE).
- Barton, K. (2020). MuMIn: Multi-Model Inference. R package version 1.43.17. <https://CRAN.R-project.org/package=MuMIn>
- Blair, C., & Doan, T. M. (2009). Patterns of community structure and microhabitat usage in peruvian pristimantis (Anura: Strabomantidae). *The American Society of Ichthyologists and Herpetologists*, 2009(2), 303–312. <https://doi.org/10.1643/CH-08-062>
- Blas, J. (2010). Diversidad de especies de dendrobatidae en tres tipos de bosques en un gradiente altitudinal desde Santa Carmen al abra La Divisoria (Huanuco Ucayali - Perú)[Tesis para optar el título de ingeniero en recursos naturales]. Facultad De Zootecnia. Universidad Nacional Agraria de la Selva. Recuperado de [http://repositorio.unas.edu.pe/bitstream/handle/UNAS/1625/TS\\_HRP\\_2019.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://repositorio.unas.edu.pe/bitstream/handle/UNAS/1625/TS_HRP_2019.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Brehm, G., Colwell, R. K., & Kluge, J. (2007). The role of environment and mid-domain effect on moth species richness along a tropical elevational gradient. *Global Ecology and Biogeography*, 16(2), 205–219. <https://doi.org/10.1111/j.1466-8238.2006.00281>
- Brooks, T. M., Mittermeier, R. A., Mittermeier, C. G., Da Fonseca, G. A. B., Rylands, A.

- B., Konstant, W. R., Flick, P., Pilgrim, J., Oldfield, S., Magin, G., & Craig, H. T. (2002). Habitat Loss and Extinction in the Hotspots of Biodiversity. *Conservation Biology*, 16(4), 909–923. <https://doi.org/10.1046/j.1523-1739.2002.00530.x>
- Burnham, K. P., & Anderson, D. R. (2004). Multimodel inference: Understanding AIC and BIC in model selection. *Sociological Methods and Research*, 33(2), 261–304. <https://doi.org/10.1177/0049124104268644>
- Calambás, L. F. (2017). Efecto conjunto de los factores ambientales y espaciales en la determinación de la riqueza de especies de anuros en la cordillera de los andes. *Universidad Federal de Integración Latinoamericana*, 87(1,2), 149–200. <https://doi.org/http://dspace.unila.edu.br/123456789/4006>
- Castro, S., Vergara, C., & Arellano, C. (2008). Distribución de la riqueza, composición taxonómica y grupos funcionales de hormigas del suelo a lo largo de un gradiente altitudinal en el refugio de vida silvestre Laquipampa, Lambayeque-Perú. *Ecología Aplicada*, 7(1,2), 89–103. Recuperado de [www.antbase.org](http://www.antbase.org)
- Catenazzi, A. (2012a). Anfibios Acajanco, Wayquecha y Pillahuata, Cusco, Perú. *Field Museum*.
- Catenazzi, A. (2012b). Anuros del valle de Kosñipata (900-3800m), PN Manu, Perú. *The Field Museum*.
- Catenazzi, A., & Rodríguez, L. (2001). Diversidad, distribución y abundancia de Anuros en el parte alta de la reserva de Biosfera del Manu. En Rodríguez, L. (Ed.), *El Manu y otras experiencias de investigación y manejo de bosques neotropicales*. (pp. 28–32). Pro-Manu, Cusco, Perú.
- Catenazzi, A., Lehr, E., Rodriguez, L. O., & Vredenburg, V. T. (2011). *Batrachochytrium dendrobatidis* and the collapse of anuran species richness and abundance in the upper Manu National Park, southeastern Peru. *Conservation Biology*, 25(2), 382-391.
- Catenazzi, A., Lehr, E., & von May, R. (2013). The amphibians and reptiles of Manu National Park and its buffer zone, Amazon basin and eastern slopes of the Andes, Peru. *Biota Neotropica*, 13(4), 269–283. <https://doi.org/10.1590/s1676-06032013000400024>
- Cayuela, L. (2010). Modelos lineales generalizados (GLM). Centro Andaluz de Medio

- Ambiente, *Universidad de Granada*. Notas de clase, 61–87.
- Cayuela, L. (2011). Analisis multivariante. Centro Andaluz de Medio Ambiente, *Universidad de Granada*. Notas de clase, 1–26.
- Chao, A., Chazdon, R., Colwell, R., & Shen, T. (2005). A new statistical approach for assessing similarity of species composition with incidence and abundance data. *Ecology Letters*, 8(2), 148–159. <https://doi.org/10.1111/j.1461-0248.2004.00707.x>
- Duellman, W. E. (2005). The Amphibians. En Duellman, W. E. (Ed.), *Cusco amazónico; the lives of Amphibians and Reptiles in an Amazonian Rainforest* (pp. 266). Cornell University Press.
- Duellman, W. E., & Lehr, E. (2009). Characters of Strabomantid Frogs. En Duellman, W. E. (Ed.), *Terrestrial breeding frogs (Strabomantidae) in Peru* (pp 36-67). Natund Tier Verlag.
- De La Riva, I., Chaparro, J. C., & Padial, J. M. (2008). A new, long-standing misidentified species of Psychrophrynella Hedges, Duellman & Heinicke from Departamento Cusco, Peru (Anura: Strabomantidae). *Zootaxa*, 50(1823). 42–50. <https://doi.org/10.11646/zootaxa.1823.1.3>
- Escalante, T. (2003). ¿Cuántas especies hay? Los estimadores no paramétricos de Chao. *Elementos: Ciencia y cultura*, 2(14), 53–58. <https://doi.org/ISSN: 0187-9073>
- Fadriquea, B., Santos, P., Farfan, W., Salinas, N., Silmang, M. & Feeleya, K.J. (2020). Reduced tree density and basal area in Andean forests are associated with bamboo dominance. *Forest Ecology and Management*, 2021(480):118 - 148. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2020.118648>
- Farfan W., Garcia, K., Salinas, N., Raurau, M. N., & Silman.M.R. (2015). Lista anotada de árboles y afines en los bosques montanos del sureste peruano: es importante seguir recolectando. *Revista Peruana de Biología* 22(2): 145 – 174. <http://dx.doi.org/10.15381/rpb.v22i2.11351>
- Fauth, J. E., Crother, B. I., & Slowinski, J. B. (1989). Elevational Patterns of Species Richness, Evenness, and Abundance of the Costa Rican Leaf-Litter Herpetofauna. *Biotropica*, 21(2), 178–185. <https://doi.org/10.2307/2388708>

- Foster, P. (2001). The potential impacts of global climate change on tropical montane cloud forests. *Earth-Science Reviews*, 55(1–2), 73–106. [https://doi.org/10.1016/S0012-8252\(01\)00056-3](https://doi.org/10.1016/S0012-8252(01)00056-3)
- Girardin, C.A.J., Malhi, Y., Aragão, L.E.O.C., Mamani, M., Huaraca Huasco, W., Durand, L., *et al.* (2010). Net primary productivity allocation and cycling of carbon along a tropical forest elevational transect in the Peruvian Andes. *Global Change Biology*, 16, 3176–3192.
- Graham, A. (2009). The andes: A geological overview from a biological perspective. *Annals of the Missouri Botanical Garden*, 96(3), 371–385. <https://doi.org/10.3417/2007146>
- Graham, C. H., Carnaval, A. C., Cadena, C. D., Zamudio, K. R., Roberts, T. E., Parra, J. L., ... & Sanders, N. J. (2014). The origin and maintenance of montane diversity: Integrating evolutionary and ecological processes. *Ecography*, 37(8), 711–719. <https://doi.org/10.1111/ecog.00578>
- Grytnes, J. A., & Vetaas, O. R. (2002). Species richness and altitude: a comparison between null models and interpolated plant species richness along the Himalayan altitudinal gradient, Nepal. *The American Naturalist*, 159(3), 294–304.
- Hedges, B. S., Duellman, W. E., & Heinicke, M. P. (2008). Family Strabomantidae, New Family. En *New World direct-developing frogs (Anura: Terrarana)* (pp 97). Magnolia Press.
- Hill, M. O. (1973). Diversity and Evenness: A Unifying Notation and Its Consequences. *Ecology*, 54(2), 427–432. <https://doi.org/10.2307/1934352>
- Hoorn, C., Wesselingh, F. P., Ter Steege, H., Bermudez, M. A., Mora, A., Sevink, J., ... Antonelli, A. (2010). Amazonia through time: Andean uplift, climate change, landscape evolution, and biodiversity. *Science*, 330(6006), 927–931. <https://doi.org/10.1126/science.1194585>
- Hsieh, T., Ma, K.H., & Chao, A. (2020). iNEXT: Interpolation and Extrapolation for Species Diversity. R package version 2.0.20, [http://chao.stat.nthu.edu.tw/wordpress/software\\_download/](http://chao.stat.nthu.edu.tw/wordpress/software_download/)
- Hutter, C. R., Lambert, S. M., & Wiens, J. J. (2017). Rapid diversification and time

- explain amphibian richness at different scales in the Tropical Andes, Earth's most biodiverse hotspot. *The American Naturalist*, 190(6), 828-843.
- Jost, L., & Gonzalez, J. A. (2012). Midiendo la diversidad biológica: más allá del índice de Shannon. *Acta zoológica lilloana*, 56(1–2), 3–14.
- Kindt R., & Coe, R. (2005). Tree diversity analysis. A manual and software for common statistical methods for ecological and biodiversity studies. World Agroforestry Centre (ICRAF), Nairobi (Kenya). ISBN 92-9059-179-X, <http://www.worldagroforestry.org/output/tree-diversity-analysis>.
- Kluge, J., & Kessler, M. (2011). Influence of niche characteristics and forest type on fern species richness, abundance and plant size along an elevational gradient in Costa Rica. *Plant Ecology*, 212(7), 1109–1121. <https://doi.org/10.1007/s11258-010-9891>
- Larsen, T. H., Brehm, G., Navarrete, H., Franco, P., Gómez, H., Mena, J. L., ... & Canhos, V. (2012). Desplazamientos de los rangos de distribución y extinciones impulsados por el cambio climático en los Andes tropicales: síntesis y orientaciones. Herzog, SK, Martínez, R., Jorgensen, PM & Tiessen, H. *Cambio climático y biodiversidad en los Andes*, 57-82.
- Leigh, E. G. (1975). Structure and Climate in Tropical Rain Forest. *Annual Review of Ecology and Systematics*, 6(1), 67–86. <https://doi.org/10.1146/annurev.es.06.110175.000435>
- Lomolino, M. V. (2001). Elevation gradients of species-density: Historical and prospective views. *Global Ecology and Biogeography*, 10(1), 3–13. <https://doi.org/10.1046/j.1466-822x.2001.00229.x>
- Magurran, A. (2004). How many species? En Magurran, A. (Ed.), *Measuring Biological Diversity* (1st ed., pp. 72–98). Blackwell Science Ltd., USA.
- McDiarmid, R. W. (2014). Amphibian Diversity and Natural History : An Overview. En *Measuring and Monitoring Biological Diversity: Standard Methods for Amphibians* (pp. 5–15). Smithsonian Institution,.
- McCain, C. M., & Grytnes, J.A. (2010). Elevational Gradients in Species Richness. *Encyclopedia of Life Sciences*, 18(9), 1–10. <https://doi.org/10.1002/9780470015902.a0022548>

- Meier, C.L., Rapp, J., Bowers R.M., Silman, M. & Fierer, N.(2010). Fungal growth on a common wood substrate across a tropical elevation gradient: Temperature sensitivity, community composition, and potential for above-ground decomposition. *Soil Biology & Biochemistry* 42 (2010) 1083-1090. doi:10.1016/j.soilbio.2010.03.005
- Meyer, D., & Buchta, C. (2021). Proxy: Distance and Similarity Measures. R package version 0.4-26. <https://CRAN.R-project.org/package=proxy>
- Moreno, C. E. (2001). Métodos para medir la biodiversidad. M&T -Manuales y Tesis SEA, 1(1), 84. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0103709>
- Myers, N., Mittermeier, R. A., Mittermeier, C. G., da Fonseca, G. A. B., & Kent, J. (2000). Biodiversity hotspots for conservation priorities. *Nature*, 406(7326), 895. <https://doi.org/10.1038/468895a>
- Novillo, A., & Ojeda, R. A. (2014). Elevation patterns in rodent diversity in the dry Andes: disentangling the role of environmental factors. *Journal of Mammalogy*, 95(1), 99-107.
- Oksanen, J., Guillaume, F., Friendly, M., Kindt, R., Legendre, P., McGlinn, D., Minchin, P.R., O'Hara, R.B., Simpson, G.L., Solymos, P., M. Stevens, H.H., Szoecs, H.H., & Wagner, H. (2020). Vegan: Community Ecology Package. R package version 2.5-7. <https://CRAN.R-project.org/package=vegan>
- Ortega, R. M. M., Pendás, L. C. T., Ortega, M. M., Abreu, A. P., & Cánovas, A. M. (2009). El coeficiente de correlación de los rangos de Spearman caracterización. *Revista Habanera de Ciencias Médicas*, 8(2), 0–0.
- Palacio, F., Apodaca, M. J., & Crisci, J. (2020). Reducción de dimensiones: Métodos de ordenación. En *Análisis multivariado para datos biológicos: teoría y aplicación usando R*. (1a ed., pp. 101–115). Fundación de Historia Natural Félix de Azara. Ciudad Autónoma de Buenos Aires.
- Pérez, C. D., & Medinal, G. F. (2018). Influencia de algunas variables ambientales sobre la abundancia relativa y características corporales de la rana de lluvia *Pristimantis renjiformis* (Lynch, 2000) en Cundinamarca, Colombia. *Bioneotropical*, 8(3), 157–167. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.18636/bioneotropical.v8i3.754>

- Rapp, J. M., & Silman, M. R. (2010). Climate control of plant performance across an Andean altitudinal gradient [Tesis para optar el título de doctor of science de biología]. Wake Forest University Graduate School of Arts and Sciences Department of Biology, 160–221.
- Rapp, J. M., & Silman, M. R. (2012). Diurnal, seasonal, and altitudinal trends in microclimate across a tropical montane cloud forest. *Climate Research*, 55(1), 17–32. <https://doi.org/10.3354/cr01127>
- R Core Team (2014). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <http://www.R-project.org/>
- Revelle W. (2021). psych: Procedures for Psychological, Psychometric, and Personality Research. Northwestern University, Evanston, Illinois. R package version 2.1.6, <https://CRAN.R-project.org/package=psych>.
- Serrano, S. J., Whitworth, A., & Villacampa, J. (2015). Habitat Selection and Conservation of an Endemic Poison Dart Frog; from a Regenerating Tropical Forest Study Site in the Manu Biosphere Reserve. Ponencia presentada en BIOCON Perú. (pp. 2–3). <https://doi.org/10.13140/RG.2.1.3666.4084>
- Spotila, J. R., & Berman, E. N. (1976). Determination of skin resistance and the role of the skin in controlling water loss in amphibians and reptiles. *Comparative Biochemistry and Physiology*, 55(4), 407–411. [https://doi.org/10.1016/0300-9629\(76\)90069-4](https://doi.org/10.1016/0300-9629(76)90069-4)
- Stuart, S. N., Chanson, J. S., Cox, N. A., Young, B. E., Rodrigues, A. S., Fischman, D. L., & Waller, R. W. (2004). Status and trends of amphibian declines and extinctions worldwide. *Science*, 306(5702), 1783-1786.
- Terborgh, J. (1977). Bird Species Diversity on an Andean Elevational Gradient. *Ecological Society of America*, 58(5), 1007–1019.
- Thorson, T. B. (2011). The Relationship of Water Economy to Terrestrialism in *Amphibians*. *Ecological Society of America*, 36(1), 100–116.
- Vasconcelos, S., Gomes, T., Fernando, C., Haddad, B., & Rossa, D. D. C. (2010). Climatic variables and altitude as predictors of anuran species richness and number

- of reproductive modes in Brazil. *Journal of Tropical Ecology*, 26(4), 423–432.  
<https://doi.org/10.1017/S0266467410000167>
- Venables, WN., & Ripley, BD. (2002). *Modern Applied Statistics with S*, Fourth edition. Springer, New York. ISBN 0-387-95457-0,  
<https://www.stats.ox.ac.uk/pub/MASS4/>
- Villacampa, J., Whitworth, A., Allen, L., & Malo, J. E. (2019). Altitudinal differences in alpha, beta and functional diversity of an amphibian community in a biodiversity hotspot. *Neotropical Biodiversity*, 5(1), 60–68.  
<https://doi.org/10.1080/23766808.2019.1659022>
- Vitt, L. J., & Caldwell, J. P. (2014). Water Balance and Gas Exchange Chapter. En *Herpetology An Introductory Biology of Amphibians and Reptiles* (4ta ed., pp. 181–202). Academic Press. USA. <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-386919-7.00005-8>
- von May, R. (2009). Diversity patterns of amphibians in lowland amazonian forests in southeastern Peru [Tesis para optar el título de doctor of science de biología]. Universidad Internacional de Florida, Miami, 151–170.
- Wang, J. T., Zheng, Y. M., Hu, H. W., Zhang, L. M., Li, J., & He, J. Z. (2015). Soil pH determines the alpha diversity but not beta diversity of soil fungal community along altitude in a typical *Tibetan forest ecosystem*. *Journal of Soils and Sediments*, 15(5), 1224–1232. <https://doi.org/10.1007/s11368-015-1070-1>
- Watling, J. I. (2005). Edaphically-biased distributions of amphibians and reptiles in a lowland tropical rainforest. *Studies on Neotropical Fauna and Environment*, 40(1), 15–21. <https://doi.org/10.1080/01650520400007348>
- Webster, G. L., Churchill, S. P., Balslev, H., Forero, E., & Luteyn, J. L. (1995). The panorama of Neotropical cloud forests. En *Biodiversity and conservation of Neotropical montane forests*. (Vol. 25, pp. 556–568). Bronx, New York , USA ., Recuperado de <https://www.cabdirect.org/cabdirect/abstract/19382700446>
- Wells, K. D. (2007). Temperature Relations. En *The Ecology and Behavior of Amphibians* (pp 122-156). The University of Chicago.
- Werner, E. E., Skelly, D. K., Relyea, R. A., & Yurewicz, K. L. (2007). Amphibian species richness across environmental gradients. *Oikos*, 116(10), 1697–1712.

<https://doi.org/10.1111/j.2007.0030-1299.15935.x>

- Whitaker, J., Ostle, N., Nottingham, A.T., Ccahuana, A., Salinas, N., Bardgett, R.D., Meir, P., & Niall, P. (2014) Microbial community composition explains soil respiration responses to changing carbon inputs along an Andes-to-Amazon elevation gradient. *Journal of Ecology*, 2014(102), 1058–1071. doi: 10.1111/1365-2745.12247
- Wickham, H., Averick, M., Bryan, J., *et al.* (2019). Welcome to the tidyverse. *Journal of Open Source Software*, 4(43), 1686, <https://doi.org/10.21105/joss.01686>
- Wygoda M. (1984). Low cutaneous evaporative water loss in arboreal frogs. *Physiological Zoology*, 57(3), 329–337. <https://doi.org/10.1086/physzool.57.3.30163722>
- Wyman, R. L., & Jancola, J. (1992). Degree and Scale of Terrestrial Acidification and *Amphibian Community Structure*, 26(4), 392–401.
- Young, K. (2006). Ecosistemas productivos en los Andes Centrales. En Moraes, M. R., Øllgaard, B., Kvist, L.R., Borchsenius, F., & Balslev, H (Eds), *Botánica Económica de los Andes Centrales* (Vol. 42, pp. 77–78). Universidad Mayor de San Andrés. La Paz, Bolivia.
- Zimmermann, M., Meir, P., Bird, M.I., Malhi, Y. & Ccahuana, A.J.Q. (2010) Temporal variation and climate dependence of soil respiration and its components along a 3000 m altitudinal tropical forest gradient. *Global Biogeochemical Cycles*, 2010(24), 1–13. doi:10.1029/2010GB003787,

## ANEXOS

Anexo 01. Base de datos

Parcelas	Pendiente	Exposición	Temperatura	Humedad	Musgos	Herbáceas	Arbustos	Arboles	Sotobosque	Dosel	DAP>10cm	Hojarasca	pH	Humedad	N	C
516	22	E	14	90	75	80	5	85	5.2	95.836	18	5	6.1	45	0.655	27.981
517	32	SE	14	89	90	25	0	95	8	97.604	18	5	6.4	25	-	-
518	30	SE	14.6	84	0	90	20	0	3.8	22.308	0	0	6.8	40	-	-
519	24	NE	11	92	80	100	10	0	6.2	0.988	0	0	6.6	50	-	-
520	25	SE	12.8	93.6	30	30	20	90	5.6	97.084	10	7	5.6	60	0.115	19.082
521	28	SE	10.88	96.45	30	10	10	90	6.6	96.46	10	20	6.6	40	-	-
522	32	SE	13.8	89	30	70	30	90	3.4	97.5	10	16	5.3	85	-	-
523	26	E	12	93	55	70	40	95	6.2	97.552	7	16	6.8	50	-	-
524	28	SE	10.6	96	70	30	40	85	4.8	97.032	9	18	4.8	70	2.093	24.332
525	40	E	11.1	95.06	40	30	0	90	9	95.784	7	4.6	6	60	-	-
526	5	N	14.82	97	15	90	40	0	4.6	5.876	0	0	6.6	65	0.883	13.097
527	3	NE	12.8	93	35	100	0	0	6.4	16.9	0	0	7	40	-	-
528	20	NW	10.2	94	80	15	15	100	6.6	97.864	8	14	6	40	-	-
529	18	NNW	12.9	96	25	100	30	5	6.2	10.036	1	0	6.6	55	-	-
530	18	NNW	13.58	90.13	10	70	20	0	7.8	0.468	0	0	6.2	65	-	-
531	18	NW	16.16	94	0	40	5	95	6	97.24	5	2.6	6.4	40	-	-
532	18	NNW	15.71	94	15	50	40	90	5.6	97.864	8	16	6.6	25	0.102	12.481
533	24	E	15.17	93.5	10	60	30	90	5.4	98.124	7	9	6.4	40	0.915	11.656
534	16	NNW	15.36	95	10	60	75	90	3.8	96.148	10	18	6	40	-	-
535	30	SE	15.5	97.57	5	30	30	90	5.2	96.148	3	6.6	6.6	30	-	-
536	28	N	16	92	25	30	70	90	4.4	97.344	6	16	5.8	30	-	-
537	36	S	14.02	97.78	10	60	5	100	4.4	98.852	6	20	6.2	50	0.827	15.783
538	32	S	15.7	96	0	80	90	70	3.4	95.004	5	24	6.8	50	-	-
539	36	E	13.22	94	30	60	35	85	3.8	97.292	9	21	6.8	50	-	-
540	34	NE	18.22	88	10	80	50	85	3.4	96.98	6	20	7	25	0.556	16.884
541	24	SE	17.05	96.85	5	70	10	100	2.8	98.344	11	14	6.4	40	-	-
542	38	SSW	15.62	94	15	65	40	85	3.4	98.592	6	25	6	55	-	-
543	32	SW	16.92	95.36	20	30	10	90	3.2	95.94	4	24	6.2	70	0.182	8.952
544	14	SW	15.7	96	65	85	0	0	6.2	0	0	0	6.6	60	1.475	19.263
545	10	E	16.07	76.97	0	100	5	0	6.2	0.312	0	0	6.4	50	-	-
546	4	N	13	96	0	90	0	0	4.4	0	0	0	6.4	55	-	-

Parcelas	Pendiente	Exposición	Temperatura	Humedad	Musgos	Herbáceas	Arbustos	Arboles	Sotobosque	Dosel	DAP>10cm	Hojarasca	pH	Humedad	N	C
547	14	NE	14.41	97.05	90	90	10	0	6.8	1.456	0	0	6.8	40	1.646	26.804
548	22	SE	9.6	97	85	35	35	75	4.8	94.432	15	21	5.8	50	1.262	47.312
549	10	SW	13.94	82.97	100	80	70	0	4	35.152	2	0	6.6	50	-	-
550	8	WSW	12	97	80	85	10	0	5	0	0	0	6.6	80	1.087	15.351
551	10	SW	11.06	91.87	100	100	30	100	3.8	95.524	3	2	6	60	-	-
552	28	E	9.42	93	85	20	15	60	6	97.188	10	7	5.8	95	1.473	24.095
553	12	SE	12.05	93	90	100	10	0	5	0	0	0	6.6	80	-	-
554	8	E	12.2	94	70	95	20	0	7.6	0	0	0	6.8	70	1.339	21.323
555	10	E	10.26	95.52	40	100	5	0	5.4	0	0	0	6.8	70	-	-
556	28	N	9.5	95	75	65	10	95	4.6	97.968	9	10	6	65	1.637	21.147
557	30	NW	11	95.7	30	40	20	100	1.8	99.476	11	16	6.8	50	-	-
558	6	NNW	9.4	94	65	75	50	0	3.6	50.18	1	1	6.8	60	1.91	24.679
559	28	NW	13.54	93.39	10	70	10	100	5.2	99.528	9	10	6.8	40	-	-
560	12	N	13.02	84	40	85	10	85	4.4	96.876	28	16	6	60	-	-
561	24	E	14.41	99.26	20	70	<5	95	6.4	97.916	15	10	5.6	90	-	-
562	10	N	13.3	84	25	70	40	90	4.2	95.16	10	12	7	35	-	-
563	32	E	13.73	95.92	20	80	10	95	3.4	98.488	3	14	6.2	50	-	-
564	6	E	14.8	84	60	85	15	75	3.4	94.9	10	18	5.3	90	1.268	22.346
565	14	S	13.3	93	10	100	10	0	4.4	16.12	0	0.2	6.2	30	-	-
566	18	SSE	12.92	95	20	65	35	70	4.6	90.428	14	16	4.6	60	1.414	19.879
567	24	S	20.9	94.25	0	10	10	93	5.4	98.852	7	10	6	50	-	-
568	16	SE	12.8	95	15	45	15	85	5.2	98.228	7	16	5.6	100	-	-
569	32	SE	20.69	94.46	0	40	30	100	0.6	99.58	4	20	6.2	60	-	-
570	6	WSW	19.9	91	5	65	75	95	2.8	98.02	4	13	6.6	50	-	-
571	38	S	20.57	94.36	0	10	5	100	4.6	99.164	6	10	6.4	50	-	-
572	12	SW	19	90	5	65	75	75	2	97.76	5	12	6.4	45	0.182	13.089
573	12	N	23.27	88.19	0	70	10	100	4.2	99.632	3	10	6.4	65	-	-
574	14	N	18.2	93	5	65	15	95	4.2	98.332	8	15	6	60	0.793	11.395
575	40	NW	23.44	87.26	0	60	40	100	4.6	99.684	5	10	6.8	0	-	-
576	2	SE	24	86	0	80	25	90	2.2	97.708	10	4	6.8	5	-	-
578	19	SW	22.3	89	0	85	40	90	2.8	98.644	8	8	6.6	50	-	-
581	6	SE	18.1	98.87	0	80	10	20	5.8	97.24	6	14	7	10	-	-

Parcelas	Pendiente	Exposición	Temperatura	Humedad	Musgos	Herbáceas	Arbustos	Arboles	Sotobosque	Dosel	DAP>10cm	Hojarasca	pH	Humedad	N	C
583	36	E	18.41	95.84	0	70	30	100	5.6	99.424	8	18	6	30	-	-
584	36	WSW	19.46	86	25	75	30	90	4.8	97.604	8	16	5.8	50	0.977	20.901
585	34	SE	15.38	96.18	10	80	20	30	6.8	99.84	8	16	5	30	-	-
586	25	SSW	19.1	88	25	75	25	100	4.2	98.176	4	20	6	35	-	-
587	34	SE	15.38	95.39	0	30	30	100	4.6	99.32	5	6	6.8	30	-	-
588	35	SSE	18	10	25	75	45	100	5.8	98.852	7	12	6.8	30	-	-
589	38	SE	15.17	95.42	0	10	20	100	5.6	97.396	8	10.6	6.2	60	-	-
590	34	E	18.3	85	20	75	75	90	5	97.864	5	10	6.6	55	0.827	4.087
591	38	SE	17.58	95.53	0	60	10	100	4.8	97.396	9	18	6.8	40	-	-
592	38	NNW	18.6	88	20	80	65	85	1.6	98.436	8	16	5.4	55	-	-
593	34	E	17.91	95.5	0	0	10	95	8.2	98.904	4	16	5.8	40	-	-
594	18	SW	14.4	88	30	70	55	90	5	97.396	4	14	6.2	55	-	-
595	28	E	16.2	96	0	60	30	100	4.6	99.736	3	16	5.8	60	-	-
596	28	SE	18.5	92	15	65	65	90	2.6	98.28	6	9	6.8	35	0.139	8.528
597	24	S	15.02	96	0	10	30	100	9	99.84	5	8	6.2	30	2.628	33.612
598	36	ENE	16.7	95	10	85	75	85	3.4	93.496	8	16	6.6	30	0.42	8.206
599	28	SE	21.32	95.55	0	50	40	100	6	98.02	4	7	7	35	-	-
600	16	ESE	15.3	96	20	35	25	95	4	97.552	14	12	6.4	50	-	-
601	38	S	22.63	89.94	0	80	20	100	5.4	99.268	6	6	5.8	50	0.564	8.738
602	26	NNW	14.6	96	15	75	60	90	6.2	97.656	9	9	6.6	35	-	-
603	32	SE	20.24	94.51	0	20	10	95	8.8	98.852	6	6	6.8	0	-	-
604	8	E	21.8	90.47	10	50	30	85	5.8	98.124	6	10	6.4	30	2.662	0.23
605	38	S	20.52	89.6	0	60	10	100	2.4	97.708	9	8	6	55	-	-
606	5	E	20.8	92	20	60	40	95	3.6	98.8	11	9	5.8	45	0.05	9.355
608	26	NE	21.8	89	20	75	20	85	5	97.916	6	18	6.6	30	0.767	8.197
609	32	NE	18.99	91.9	0	30	40	95	5.2	99.008	8	14	6	60	-	-
610	40	S	19.1	93	30	70	65	90	4.4	96.096	11	10	6.8	30	0.531	8.082
611	42	NW	18.98	93.27	0	60	10	95	7.8	99.216	5	8	6.2	35	-	-
612	38	ESE	17.3	96	25	60	35	95	6	96.772	8	15	6.8	30	-	-
613	28	N	18.8	90	30	50	50	90	3.4	97.708	14	14	5.8	80	-	-
614	33	NNW	18.5	96	15	40	70	75	3.6	96.98	6	12	6.8	30	0.97	12.169
615	32	NNW	17.2	96	10	70	70	90	1.4	97.448	6	10	6.5	50	-	-
616	36	SW	21.56	86.59	10	40	20	95	3.6	98.904	3	6	7	10	-	-

**Anexo 02 Estadísticos descriptivos de las variables ambientales evaluadas por rangos altitudinales en el valle de Kosñipata**

Rangos altitudinales	Cobertura de dosel (%)		Cobertura de musgos (%)		Cobertura de herbáceas		Cobertura de arbustos (%)		Sotobosque (%)		Arboles con DAP >10cm		Profundidad hojarasca (cm)	
	Media (min ± máx)	DS*	Media (min ± máx)	DS*	Media (min ± máx)	DS*	Media (min ± máx)	DS*	Media (min ± máx)	DS*	Media (min ± máx)	DS*	Media (min ± máx)	DS*
1300-1600	98.67 (97.71-99.68)	0.74	3.33 (0-20)	6.15	59.58 (10-85)	20.61	36.25 (10-75)	21.12	3.78 (0.6-6)	1.73	6.08 (3-11)	2.5	9.92 (4-20)	4.03
1600-1900	97.93 (96.1-99.22)	1.01	11.25 (0-30)	12.27	50.83 (10-75)	21.2	33.33 (5-70)	25.17	4.73 (1.4-8.8)	2.09	7.75 (5-14)	2.6	11.67 (6-18)	3.58
1900-2200	98.37 (97.24-99.84)	0.89	13.75 (0-30)	11.7	63.33 (10-80)	23.29	35.42 (10-75)	20.17	4.87 (1.6-6.8)	1.33	6.17 (3-8)	1.9	13.22 (6-20)	4.43
2200-2500	97.73 (93.5-99.84)	1.74	9.17 (0-20)	7.93	52.92 (0-85)	27.67	34.58 (10-75)	23.40	4.63 (2.6-9)	2.11	7.08 (3-14)	3.23	15.58 (8-25)	5.60
2500-2800	97.13 (95-99.53)	1.37	15 (0-40)	12.43	57.92 (30-85)	17.77	36.67 (5-90)	28.55	4.65 (3.4-6)	0.81	8.83 (3-28)	6.42	14.27 (2.6-24)	6.34
2800-3100	89.84 (16.12-98.49)	23.32	37.92 (10-90)	25.8	60.83 (10-100)	27.29	16.25 (0-40)	12.64	5.2 (3.4-8)	1.45	10.17 (0-18)	5.52	11.93 (0.2-20)	6.28
3100-3400	49.57 (0.47-99.48)	44.32	43.75 (0-80)	29.01	67.08 (15-100)	31	21.25 (0-50)	15.97	5.45 (1.8-9)	1.97	3.83 (0-11)	4.49	5.3 (0-18)	7.14
3400-3700	27.01 (0-97.19)	42.61	67.08 (0-100)	35.38	81.67 (20-100)	26.4	17.5 (0-70)	19.83	5.43 (3.8-7.6)	1.15	2.5 (0-15)	4.89	2.5 (0-21)	6.17

DS\* desviación estándar

Rangos altitudinales	Temperatura ambiental (°C)		Humedad ambiental (%)		Pendiente		pH del suelo		Humedad del suelo (%)		Nitrógeno del suelo		Carbono de suelo	
	Media (min ± máx)	DS	Media (min ± máx)	DS	Media (min ± máx)	DS	Media (min ± máx)	DS	Media (min ± máx)	DS	Media (min ± máx)	DS	Media (min ± máx)	DS
1300-1600	21.67 (19-24)	1.51	90.68 (86-95.55)	2.96	18.83 (2-40)	13.31	6.4 (5.8-7)	0.39	40.42 (0-65)	20.05	0.63 (0.03-2.66)	0.92	6.05 (0.23-13.09)	4.75
1600-1900	19.18 (17.2-21.8)	1.38	93.05 (89-96)	2.50	32.75 (14-42)	7.64	6.39 (5.8-6.8)	0.38	42.5 (0-80)	20.83	0.94 (0.53-1.39)	0.31	12.56 (8.08-18.44)	4.37
1900-2200	17.66 (14.4-21.56)	2.13	91.11 (85-98.87)	4.86	30.83 (6-38)	9.75	6.23 (5-7)	0.64	37.5 (10-60)	17.39	0.71 (0.11-1.06)	0.35	9.94 (2.12-20.9)	7.05
2200-2500	16.64 (14.6-18.5)	1.3	94.69 (88-96.85)	2.45	29.83 (16-38)	6.69	6.38 (5.8-7)	0.40	42.5 (25-70)	13.57	0.73 (0.14-2.63)	0.8	13.07 (8.21-33.61)	8.76
2500-2800	14.73 (13.02-16.16)	1.2	92.94 (84-97.78)	4.50	24 (10-36)	9.03	6.45 (5.8-7)	0.38	40.83 (25-60)	10.19	0.82 (0.1-1.13)	0.37	13.73 (11.65-15.8)	2.02
2800-3100	13.29 (10.88-14.8)	1.09	92.77 (84-99.26)	4.15	22.92 (6-32)	8.13	5.86 (4.6-6.8)	0.63	60.42 (25-100)	25.18	0.86 (0.12-1.41)	0.6	22.32 (19.08-27.98)	4.02
3100-3400	11.79 (9.4-14.82)	1.89	93.49 (84-97)	3.55	20.83 (3-40)	11.50	6.35 (4.8-7)	0.60	55 (40-70)	10.87	1.39 (0.42-2.09)	0.71	17.74 (5.44-24.68)	8.31
3400-3700	12.48 (9.42-16.07)	2.23	92.53 (76.97-97.05)	6.25	12.5 (4-28)	6.56	6.43 (5.8-6.8)	0.37	63.33 (40-95)	16	1.35 (1.09-1.65)	0.19	24.1 (14.56-47.31)	11.14

DS\* desviación estándar

**Anexo 03. Guías usadas para la identificación de anfibios en campo Anfibios Acjanaco, Wayquecha y Pillahuata, Cusco Perú (Catenazzi, 2012a)**

## ANFIBIOS

### Acjanaco, Wayquecha y Pillahuata, Cusco, Perú

Alessandro Catenazzi  
Southern Illinois University, Carbondale, Illinois

1

Fotos de Alessandro Catenazzi  
Producido por Alessandro Catenazzi con el apoyo de la Asociación para la Conservación de la Cuenca Amazónica, The Rufford Small Grants Foundation, y el Amphibian Specialist Group.  
© Alessandro Catenazzi. [acatenazzi@gmail.com] (<https://sites.google.com/site/acatenazzi/frogs-of-kosnipata-species-descriptions>) versión 1. 12/2012

			
1 <i>Centrolene sabini</i> CENTROLENIDAE	2 <i>Centrolene sabini</i> CENTROLENIDAE	3 <i>Nymphargus pluvialis</i> CENTROLENIDAE	4 <i>Nymphargus pluvialis</i> CENTROLENIDAE
			
5 <i>Telmatobius timens</i> CERATOPHRYIDAE	6 <i>Telmatobius timens</i> CERATOPHRYIDAE	7 <i>Telmatobius mendelsoni</i> CERATOPHRYIDAE	8 <i>Telmatobius mendelsoni</i> CERATOPHRYIDAE
			
9 <i>Gastrotheca antoniochoai</i> ♂ HEMIPHRACTIDAE	10 <i>Gastrotheca antoniochoai</i> ♂ HEMIPHRACTIDAE	11 <i>Gastrotheca antoniochoai</i> ♀ HEMIPHRACTIDAE	12 <i>Gastrotheca antoniochoai</i> ♀ HEMIPHRACTIDAE
			
13 <i>Gastrotheca excubitor</i> HEMIPHRACTIDAE	14 <i>Gastrotheca excubitor</i> HEMIPHRACTIDAE	15 <i>Gastrotheca nebulanastes</i> HEMIPHRACTIDAE	16 <i>Gastrotheca nebulanastes</i> HEMIPHRACTIDAE
			
17 <i>Hyloscirtus armatus</i> ♂ HYLIDAE	18 <i>Hyloscirtus armatus</i> ♂ HYLIDAE	19 <i>Hyloscirtus armatus</i> ♀ HYLIDAE	20 <i>Hyloscirtus armatus</i> ♀ HYLIDAE

**Anexo 04. Guías usadas para la identificación de anfibios en campo Anfibios del valle de Kosñipata (900-3800m) PN Manu, Perú (Catenazzi, 2012b)**

**ANUROS del Valle de Kosñipata (900-3800 m), PN Manu, PERÚ**

Alessandro Catenazzi

**1**

Fotos de: A. Catenazzi (excepto por *A. tricolor*: J. Köhler). Producido por: A. Catenazzi, con el apoyo de la Asociación para la Conservación de la Cuenca Amazónica, Chicago Zoological Society (CBOI grant), Rufford Small Grants Foundation, Amphibian Specialist Group & Andrew Mellon Foundation.  
 © A. Catenazzi, y Environmental & Conservation Programs, The Field Museum, Chicago, IL 60605 [RRC@frem.org] USA. Rapid Color Guide # versión 10



1 *Allobates alessandroi*  
AROMOBATIDAE \*1999\*



2 *Allobates trilineatus*  
AROMOBATIDAE



3 *Atelopus erythropus*  
BUFONIDAE \*1999\*



4 *Atelopus erythropus*  
BUFONIDAE \*1999\*



5 *Atelopus tricolor* (foto J. Köhler)  
BUFONIDAE \*1991\*



6 *Atelopus tricolor* (foto J. Köhler)  
BUFONIDAE \*1991\*



7 *Rhinella inca*  
BUFONIDAE



8 *Rhinella inca*  
BUFONIDAE



9 *Rhinella manu*  
BUFONIDAE



10 *Rhinella manu*  
BUFONIDAE



11 *Rhinella* gr. *margaritifera*  
BUFONIDAE



12 *Rhinella marina*  
BUFONIDAE



13 *Rhinella poeppigii*  
BUFONIDAE



14 *Rhinella poeppigii*  
BUFONIDAE



15 *Rhinella veraguensis*  
BUFONIDAE



16 *Rhinella veraguensis*  
BUFONIDAE



17 *Centrolene sabini*  
CENTROLENIDAE



18 *Centrolene sabini*  
CENTROLENIDAE



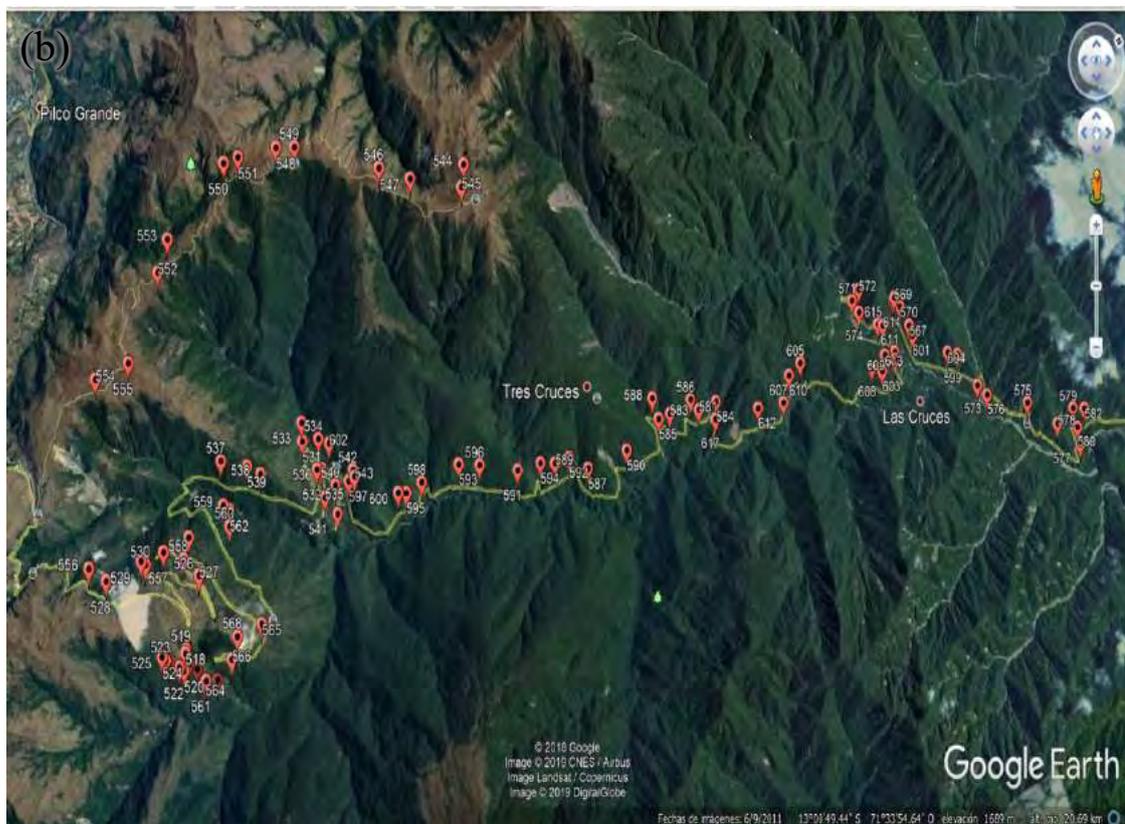
19 *Hyalinobatrachium bergeri*  
CENTROLENIDAE



20 *Hyalinobatrachium bergeri*  
CENTROLENIDAE

**Anexo 05. Galería fotográfica**

**Figura 1.** (a) Vista panorámica del valle de Kosñipata, provincia de Paucartambo, región del Cusco. (b) Imagen satelital de los puntos de muestreo.





**Figura 3.** (a) Grupo de trabajo, de izquierda a derecha: Sr. Víctor, Sr. Aurelio, Dr. Alessandro Catenazzi, Sr. Jaime, William Ttito y Sr. Victor (b) pesado de anuros, (c) toma de datos en parcelas, (d) búsqueda de anuros en parcelas del bosque nublado.



**Figura 4.** (a) Toma de muestra de suelos, (b) Preparación de las muestras para el secado. (c) Secado de las muestras de suelo



**Figura 5.** Fotografías de las especies registradas: **(a)** *Bryophryne hanssaueri* vista ventral, **(b)** *Bryophryne hanssaueri* vista dorsal, **(c)** hembra de *Bryophryne cophites* protegiendo su puesta de huevos terrestres, **(d)** adulto macho de *Bryophryne nubilosus* Foto de A. Catenazzi, **(e)** *Psychrophrynella usurpator* foto dorsal y **(f)** *Psychrophrynella usurpator* foto ventral.



**Figura 6.** Fotografías de las especies registradas: **(a)** *Noblella* sp. foto por A. Catenazzi, **(b)** *Gastrotheca excubitor*, hembra grávida, **(c)** *Psychrophrynella* spP foto ventral. Foto de A. Catenazzi, **(d)** adulto macho de *Psychrophrynella* spR, **(e)** *Noblella losamigos* foto de A. Catenazzi, y **(f)** *Noblella pygmaea* foto de A. Catenazzi.



**Figura 7.** Fotografías de las especies registradas: (a) *Rhinella leptoscelis*, (b) *Rhinella leptoscelis*, (c) *Rhinella* cf. *manu* vista dorsal, (d) *Rhinella* cf. *manu* vista ventral, (e) *Oreobates gemcare*, (f) *Oreobates granulosis*.



**Figura 8.** Fotografías de las especies registradas: **(a)** *Pristimantis toftae*, **(b)** *Pristimantis* sp. **(c)** *Pristimantis pharangobates* vista dorsal, **(d)** *Pristimantis pharangobates* vista lateral, **(e)** *Pristimantis platydactylus* **(f)** *Pristimantis danae*.



