

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA  
LA MOLINA**

**ESCUELA DE POSGRADO  
MAESTRÍA EN CIENCIAS AMBIENTALES**



**“MODELACIÓN DE LA DISTRIBUCIÓN ECOLÓGICA POTENCIAL  
DEL ANURO *Pristimantis simonsii* (Boulenger, 1900) EN EL  
DEPARTAMENTO DE CAJAMARCA, PERÚ”**

**Presentada por:**

**CÉSAR EDUARDO FUENTES PEÑA**

**TESIS PARA OPTAR EL GRADO DE MAESTRO  
MAGISTER SCIENTIAE EN CIENCIAS AMBIENTALES**

**Lima - Perú**

**2020**

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA  
LA MOLINA**

**ESCUELA DE POSGRADO**

**MAESTRÍA EN CIENCIAS AMBIENTALES**

**“MODELACIÓN DE LA DISTRIBUCIÓN ECOLÓGICA  
POTENCIAL DEL ANURO *Pristimantis simonsii*  
(Boulenger, 1900) EN EL DEPARTAMENTO DE  
CAJAMARCA, PERÚ”**

**TESIS PARA OPTAR EL GRADO DE  
MAESTRO MAGISTER SCIENTIAE**

**Presentada por:**

**CÉSAR EDUARDO FUENTES PEÑA**

**Sustentada y aprobada ante el siguiente jurado:**

Dr. Edgar Sánchez Infantas  
**PRESIDENTE**

Lic.Rer.Reg. Víctor Aguilar Vidangos  
**ASESOR**

Mg.Sc. Víctor Miyashiro Kiyán  
**MIEMBRO**

Dra. Marta Williams León de Castro  
**MIEMBRO**

Dedico esta tesis a mis padres, Bertha Isabel y José Antonio. Gracias a sus enseñanzas y paciencia, pude explorar las incógnitas que solo una mente joven, en su inocencia, se atreve a cuestionar. Sembraron en mí, la pasión por la vida y la naturaleza. Gracias a su amor y apoyo incondicional, encontré en la ciencia una forma de ser feliz.

## Agradecimientos

Estas líneas pertenecen a las personas que me dieron su apoyo, muchas veces comprensión y, sobre todo, motivación. Gracias a mi familia, que desde el momento que decidí iniciar la maestría, me dieron su apoyo incondicional. Gracias a mi asesor de tesis, profesor Lic. Rer. Reg. Víctor Aguilar, que me guio en las fases difíciles de la investigación, compartiéndome herramientas y experiencias que me permitieron dar soluciones a las adversidades que se presentaron en el desarrollo del diseño de tesis. Especialmente, gracias a Cintia Lem, que llegó en el momento más difícil de la investigación, cuando debía romper paradigmas sobre lo aprendido y someter mi investigación a evaluación. Gracias por tu tiempo y amor, en la redacción y sustentación de la tesis; así como celebrar este logro que comparto contigo.

## ÍNDICE GENERAL

<b>RESUMEN</b> .....	<b>V</b>
<b>SUMMARY</b> .....	<b>VI</b>
<b>I. INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>1</b>
1.1 Objetivo principal .....	2
1.2 Objetivos específicos .....	2
<b>II. MARCO TEÓRICO</b> .....	<b>3</b>
2.1 Departamento de Cajamarca .....	3
2.2 Distribución ecológica .....	3
2.3 Estatus de conservación .....	3
2.4 Estatus Vulnerable .....	4
2.5 Lista Roja de especies amenazadas de la IUCN .....	4
2.6 Anuro .....	4
2.7 <i>Pristimantis simonsii</i> .....	4
2.8 Uso, selección y preferencia de hábitat.....	5
2.9 Rango de distribución geográfica .....	5
2.10 Espacio G.....	6
2.11 Espacio E .....	6
2.12 Dualidad de Hutchinson.....	6
2.13 Scenopoetica .....	7
2.14 Nichos Grinnelianos .....	7
2.15 Índice de la Vegetación Diferencia Normalizada (NDVI) .....	7
2.16 Diagrama BAM.....	7
2.17 Algoritmo Maxent.....	8
<b>III. MATERIALES Y MÉTODOS</b> .....	<b>10</b>
3.1 Área de estudio .....	10
3.2 Materiales.....	10
3.2.1 Materiales de campo: .....	10
3.2.2 Materiales y herramientas de gabinete: .....	10
3.3 Metodología.....	11
3.3.1 Muestreo de <i>Pristimantis simonsii</i> .....	11
3.3.2 Guía para el reconocimiento de la especie <i>Pristimantis simonsii</i> .....	11
3.3.3 Revisión y selección de registros.....	12

3.3.4	Procesamiento de las variables predictoras .....	13
3.3.5	Cálculo del NDVI .....	13
3.3.6	Selección de variables cuantitativas predictoras.....	14
3.3.7	Preparación de los registros de presencia .....	14
3.3.8	Preparación de las variables explicativas del modelo.....	14
3.3.9	Elaboración del modelo de distribución .....	14
3.3.10	ROC Parcial .....	15
3.3.11	Umbral de corte .....	15
<b>IV.</b>	<b>RESULTADOS Y DISCUSIONES .....</b>	<b>16</b>
4.1	Registros .....	16
4.2	Variables predictoras .....	16
4.2.1	Variables predictoras cualitativas .....	16
4.2.2	Variables predictoras cuantitativas .....	16
4.3	Análisis de hábitats en función a las variables predictoras.....	18
4.4	Análisis de omisión dependiente del umbral .....	25
4.5	Análisis de prueba independiente del umbral .....	26
4.6	Modelos de Distribución.....	27
4.7	Contribución de variables .....	29
4.8	Validación de los modelos .....	30
4.9	Umbral de corte .....	33
4.10	Contrastación con la distribución propuesta por la IUCN .....	33
<b>V.</b>	<b>CONCLUSIONES .....</b>	<b>36</b>
<b>VI.</b>	<b>RECOMENDACIONES .....</b>	<b>37</b>
<b>VII.</b>	<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>38</b>

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Contribuciones relativas de las variables al modelo de distribución en el área de estudio.....	29
Tabla 2: Área de distribución de la especie <i>P. simonsii</i> en el área de estudio .....	33

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Diagrama BAM (Soberón <i>et al.</i> , 2017).....	8
Figura 2: Individuo de <i>Pristimantis simonsii</i> (Duellman y Lehr, 2009). ....	12
Figura 3: Análisis Cluster de las variables predictoras cuantitativas .....	17
Figura 4: Frecuencia relativa de registros de presencia por tipo de Cobertura Vegetal en el área de estudio .....	19
Figura 5: Frecuencia relativa de registros de presencia por tipo de Pedregosidad en el área de estudio.....	20
Figura 6: Frecuencia relativa de registros de presencia por tipo de Uso Actual en el área de estudio.....	22
Figura 7: Frecuencia relativa de registros de presencia por tipo de Zona de Vida en el área de estudio.....	23
Figura 8: Frecuencia relativa de registros de presencia por altitud en el área de estudio ...	24
Figura 9: Frecuencia relativa de registros de presencia por NDVI en el área de estudio....	25
Figura 10: Promedio de omisión de prueba y área predicha para la especie <i>Pristimantis simonsii</i> en el área de estudio.....	26
Figura 11: Promedio de curva de característica operativa (ROC) del área de estudio.....	27
Figura 12: Modelo de distribución logística de la especie <i>Pristimantis simonsii</i> en el área de estudio.....	28
Figura 13: Prueba de Jackknife para la ganancia de entrenamiento regularizado del modelo de distribución de la especie <i>P. simonsii</i> en el área de estudio .....	30
Figura 14: Prueba de Jackknife para la ganancia de prueba del modelo de distribución de la especie <i>P. simonsii</i> en el área de estudio .....	31
Figura 15: Prueba de Jackknife para el AUC del modelo de distribución de la especie <i>P. simonsii</i> en el área de estudio.....	31
Figura 16: Prueba de ROC Parcial del modelo de distribución de la especie <i>P. simonsii</i> en el área de estudio .....	32
Figura 17: Modelo discretizado de presencia (naranja)/ausencia (celeste) de la especie <i>P. simonsii</i> en el área de estudio.....	34
Figura 18: Comparación de la distribución ecológica actualizada de la especie <i>Pristimantis simonsii</i> (línea roja; IUCN, 2019) versus el modelo de distribución ecológica potencial (color naranja) en el área de estudio, (elaboración propia).....	35



## RESUMEN

A causa de la escasa información sobre la distribución de la rana *Pristimantis simonsii*, en el departamento de Cajamarca, considerada una especie de alto valor social, encontrarse bajo estatus de vulnerabilidad (IUCN), en peligro crítico y endémica (legislación peruana), se realizó el modelamiento de la distribución ecológica potencial mediante el algoritmo de modelamiento de Maxent, iterando datos de presencia de la especie con variables de entorno como las Bioclimáticas de WorldClim y el estudio de Zonificación Ecológica Económica. El objetivo principal de la investigación ha sido estimar la distribución ecológica potencial de la especie de Anuro *Pristimantis simonsii* en el departamento de Cajamarca, mediante el desarrollo de un modelo probabilístico de registro de presencias de la especie. Asimismo, se determinó la frecuencia relativa de la especie por hábitat en función de las variables de entorno empleadas. Finalmente, los resultados del modelamiento arrojaron valores de distribución potencial de la especie en una superficie de 84 692.23 ha con una capacidad predictiva de 96.6%.

Palabras clave: *Pristimantis simonsii*, Distribución potencial, Algoritmo Maxent, Vulnerable, Rango de Distribución, Variables Predictoras.

## SUMMARY

The review presents the modeling of the potential ecological distribution of the frog *Pristimantis simonsii* in Cajamarca, this specie of frog of high social value is considered a specie under vulnerable (IUCN), critical and endemic threat status (Peruvian legislation). The modeling of the ecological distribution was made using the Maxent modeling algorithm, making use of the presence data of the species and environmental variables developed in previous studies such as WorldClim Bioclimatic variables and the study of Economic Ecological Zoning. The main objective of the research has been to estimate the potential ecological distribution of the species of Anuro *Pristimantis simonsii* in the department of Cajamarca, through the development of a probabilistic model of record the presence of the species. The results of the modeling showed potential distribution values of presence of the species in 84 692.23 ha with a predictive capacity of 96.6% and the relative frequency of the species per habitat was determined based on the environmental variables used in the distribution model.

Keywords: *Pristimantis simonsii*, Potential distribution, Maxent Algorithm, Vulnerable, Range of Distribution, Predictor Variables.

## I. INTRODUCCIÓN

La rana *Pristimantis simonsii*, perteneciente al orden Anuro, es endémica de la provincia de Celendín en el departamento de Cajamarca y, posee un alto valor de importancia social debido a que forma parte de la identidad cultural de la población. Dicha importancia se hizo notoria durante la planificación de diversos proyectos de explotación minera que se desarrollaron en la provincia durante el año 2010 y que en la actualidad es gestionada como parte de compromisos ambientales de conservación de las actividades mineras que se realizan en la zona. El Anuro *P. simonsii* es también considerada una especie bajo estatus de amenaza crítica por la legislación nacional y, vulnerable por la Lista Roja de especies amenazadas de la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (International Union for Conservation of Nature, IUCN).

Debido a la escasa información sobre el rango de distribución de la especie, se consideró su distribución a su zona endémica conocida, en la provincia de Celendín, en un radio aproximado de 5 km (IUCN 2017). Sin embargo, el registro circunstancial de la presencia de esta especie en zonas alejadas como en el departamento de La Libertad y otras provincias de Cajamarca, evidencia que el rango de distribución sería mayor que el señalado en la bibliografía.

Un primer acercamiento para conocer la distribución potencial del Anuro fuera de la zona de endemismo conocida se realizó en la provincia de Cajamarca dentro de dos unidades mineras, confirmándose la presencia de la especie en las áreas de influencia ubicadas a 73 km y 585 km del área de distribución conocida y, la existencia de zonas potenciales por evaluar (Fuentes 2017).

En razón a que la especie de rana *P. simonsii* ha presentado registros de ocurrencia en zonas alejadas a las definidas por la bibliografía especializada y, a que ella es una especie de importancia biológica, social y se encuentra protegida por la legislación nacional por encontrarse en estatus de conservación En Peligro y ser endémica; la presente investigación actualiza la probable distribución ecológica de la especie en

función de los registros de ocurrencia, uso de hábitat y condiciones geográficas.

En la presente investigación se desarrolla un modelo de su distribución ecológica potencial en el departamento de Cajamarca haciendo uso de los registros de presencia de la especie desde 1995 hasta el año 2017, considerando una mayor cantidad de variables cualitativas (Zona de Vida, Uso Actual, Cobertura Vegetal y Pedregosidad), y cuantitativas (Bioclimáticas, Altitud y NDVI) asociadas a la ecología del anuro.

### **1.1 OBJETIVO PRINCIPAL**

- Estimar la distribución ecológica potencial de la especie de Anuro *Pristimantis simonsii* en el departamento de Cajamarca, mediante el desarrollo de un modelo probabilístico de registro de presencias de la especie.

### **1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Determinar las variables más importantes para la elaboración del modelo de distribución ecológica potencial de la especie *Pristimantis simonsii* en el departamento de Cajamarca, Perú.
- Elaborar un mapa de rango de la distribución ecológica potencial de la especie *Pristimantis simonsii* en el departamento de Cajamarca, Perú.

## **II. MARCO TEÓRICO**

### **2.1 DEPARTAMENTO DE CAJAMARCA**

Geográficamente definido entre los paralelos 4° 30' y 7° 30' de latitud sur y los meridianos 77° 47' y 79° 20' de longitud oeste. La mayor parte de su territorio se encuentra por debajo de los 3600 m.s.n.m. Limita por el Norte con la República del Ecuador, por el Este con el Departamento de Amazonas, por el Sur con La Libertad y por el Oeste con Lambayeque y Piura. Políticamente está dividido en 13 Provincias y 127 Distritos, siendo su capital la Ciudad de Cajamarca (Gobierno Regional de Cajamarca 2016).

### **2.2 DISTRIBUCIÓN ECOLÓGICA**

Es la distribución espacial en la que se encuentra la población de una determinada especie, delimitada por características bióticas y abióticas. Según Dajoz (2001), la distribución de la población de una especie puede darse principalmente: i) Distribución uniforme o regular: presenta una distribución homogénea de los individuos en un área; ii) Distribución aleatoria, los individuos no presentan una tendencia para agruparse y se distribuyen en el espacio de manera independiente; iii) Distribución en agregados, la ubicación de un individuo en el espacio estará relacionada a la ubicación de los demás individuos de su misma especie que propicia el agrupamiento de algunos individuos y el aislamiento de otros.

### **2.3 ESTATUS DE CONSERVACIÓN**

Es una categorización que tiene como objetivo principal la identificación del grado de amenaza en la que se encuentra una especie, considerando los riesgos de extinción producto de la relación de la misma, con los impactos generados en su hábitat por actividades humanas, estrategias demográficas y tróficas, entre otros (Carrascal y Palomino 2006).

## **2.4 ESTATUS VULNERABLE**

Es una categoría de clasificación que evalúa el grado de amenaza de una especie, de acuerdo a su dinámica poblacional, como alta probabilidad de extinción en estado silvestre en un futuro próximo (IUCN 2020).

## **2.5 LISTA ROJA DE ESPECIES AMENAZADAS DE LA IUCN**

Es una herramienta de conservación que permite alertar al respecto del estado de la biodiversidad (IUCN 2016), permitiendo la toma de decisiones sobre la gestión de especies en peligro de extinción. Clasifica a las especies según el riesgo de extinción al que estén expuestas a nivel mundial; y entre sus principales objetivos se encuentran: i) servir de inventario mundial de biodiversidad, y ii) proporcionar un sistema que facilite la comparación y grado de criticidad entre diferentes taxones.

## **2.6 ANURO**

Rango taxonómico de orden, conformado por Ranas y Sapos, de la clase Anfibia, con cuerpo ancho y corto, carecen de cola y cuentan con patas traseras adaptadas para el salto (Quinzio *et al.* 2015). Su dieta alimenticia está basada principalmente en la ingesta de insectos.

## **2.7 *Pristimantis simonsii***

La rana *Pristimantis simonsii* es un anfibio perteneciente al orden taxonómico Anuro, distribuida principalmente en el departamento de Cajamarca entre los 3050 y 3760 m.s.n.m., en pajonales andinos (Icochea *et al.* 2004). Debido a su endemismo (Icochea *et al.* 2004) en la provincia de Celendín, posee un alto valor de importancia social debido a que forma parte de la identidad cultural de la población y en la actualidad es gestionada como parte de compromisos ambientales de conservación de las actividades mineras que se realizan en el departamento de Cajamarca. Es considerada una especie Vulnerable por la IUCN y, en Peligro Crítico por la legislación nacional (MINAGRI 2014).

Según Miranda (2009), esta especie ha sido registrada también en las localidades de: Namacocha, Quengorío Alto, Chailhuagón y San Cirilo, en el distrito de La Encañada, en la provincia de Cajamarca. Un registro del año 2004 en la laguna La Compuerta, en la provincia San Pablo de Cajamarca. Asimismo, Duellman *et al.* (2007), menciona registros de la especie en Abra Quilish, Abra Comulica y Distrito La Encañada, provincia de Cajamarca. Adicionalmente, se registró la especie en

concesiones mineras en el Departamento de La Libertad en los años 2006 y 2007 (Aguilar *et al.* 2012).

Además de la importancia biológica, social y de protección que tiene la especie, se puede emplear como bioindicador ambiental debido a que posee un ciclo de vida complejo, puesto que se desarrolla en hábitats terrestres asociados a cuerpos de agua, facilitando su muestreo; así como, el de sus depredadores y presas en la red trófica.

## **2.8 USO, SELECCIÓN Y PREFERENCIA DE HÁBITAT**

Rowston *et al.* (2002) define el hábitat como el conjunto de recursos y condiciones presentes en un área determinada que permite la supervivencia y desarrollo de una especie. Cuando nos referimos al uso del hábitat, lo relacionamos a los tipos de alimentos que las especies consumen en un espacio determinado (Jonhson 1980) y, que dichos recursos generalmente no cuentan con disponibilidad uniforme en la naturaleza; por lo cual, su uso puede variar en función a su disponibilidad (Manly *et al.* 1993). Además, Jonhson (1980) menciona que los recursos pueden seleccionarse por el rango geográfico en el que se encuentra el área de uso de un individuo o el grupo social de la especie, la variedad de recursos y el lugar de alimentación.

En ese sentido, la preferencia es el resultado de la selección del hábitat, la cual está influenciada por los atributos y necesidades de la especie. Siendo un proceso mediante el cual las especies eligen los recursos para su desarrollo entre las diferentes opciones disponibles en el área que se distribuyen. Según Corbalán (2004), la selección del hábitat se soporta en un proceso jerárquico que involucra comportamientos aprendidos e innatos de las especies, los cuales son determinados y varían desde un nivel de macrohábitat a microhábitat.

## **2.9 RANGO DE DISTRIBUCIÓN GEOGRÁFICA**

El rango de distribución geográfica constituye la unidad básica de la biogeografía y un elemento clave para el entendimiento de la biología de una especie (Rosenzweig 1995; Brown y Lomolino 1998). Es un área continua o discontinua sobre el que se establece una especie, donde puede adaptarse y conseguir sobrevivir a la competencia con otros organismos. Los rangos de distribución de las especies son diversos y dependen de la influencia de varios factores externos (Torres y Jayat 2010).

## 2.10 ESPACIO G

Es el área geográfica en el cual se presentan las condiciones favorables para el desarrollo de una especie. La definición de estos espacios se basa en las propiedades demográficas de las poblaciones, las cuales darán lugar a las siguientes definiciones (Soberón 2015):

- **Área ocupada ( $G_0$ ):** Es la región del planeta donde la probabilidad de encontrar a una especie (históricamente, suponiendo efectos antropogénicos despreciables) será alta.
- **Área invadible (GI):** Es la región del planeta en donde, además de condiciones escenopoéticas favorables, existe un ambiente biótico favorable para la especie.
- **G-espacio:** Es la región del planeta expresado en un sistema de información geográfica con extensión y resolución definida.

## 2.11 ESPACIO E

Es una región abstracta, definido como el hipervolumen de n-dimensiones dentro de la cual una especie puede mantener una población viable, compuesto por variables bioclimáticas y/o topográficas (Hutchinson 1958).

## 2.12 DUALIDAD DE HUTCHINSON

La Dualidad de Hutchinson propone que el nicho de una especie es un espacio n-dimensional donde cada dimensión es representada por la respuesta de una especie a la variación de una determinada variable, siendo estas independientes entre sí, y representadas por todas las condiciones ambientales y recursos que afecten al rendimiento de la especie en un instante determinado de tiempo. Estableciendo una correspondencia entre el espacio geográfico representado por G y el espacio del nicho ecológico representado por E, al cual califica como abstracto y multidimensional, por ser compuesto de variables ambientales. De modo que G y E se relacionan directamente debido a que, en un tiempo dado a cada espacio geográfico le corresponderá una combinación del espacio de E (variables ambientales), proponiendo la existencia del mismo número de elementos del espacio E y G (Hijmans, Phillips, Leathwick, Elith y Hijmans 2015). Basados en la correspondencia propuesta de Hutchinson, la modelación correlativa de nichos ecológicos permite crear un objeto en el espacio E que posteriormente puede ser proyectado al espacio G (Soberón 2017).



### 2.13 SCENOPOETICA

Son variables no interactivas con una especie en particular. Pueden ser definidas como condiciones medioambientales que permiten a una especie sobrevivir. Según Hutchinson (1957), se caracterizan porque su dinámica no modifica la presencia y/o ausencia de una especie en particular; tales como, la temperatura media del mes, altitud, humedad, entre otros.

### 2.14 NICHOS GRINNELIANOS

Son subconjuntos de Espacio E compuestos por variables scenopoeticas (Hutchinson 1958):

- **Nicho fundamental ( $N_F$ ):** Es el conjunto de condiciones scenopoeticas que permiten que una especie sobreviva.
- **Nicho fundamental existente ( $N^*_F$ ):** Es la intersección del  $N_F$  con el espacio de las variables existentes del espacio E, en un tiempo determinado.
- **Nicho realizado ( $N_R$ ):** Es el resultado de la diferencia entre el  $N_F$  existente después de las interacciones con las especies competidoras, parásitas, depredadoras, entre otras.

### 2.15 ÍNDICE DE LA VEGETACIÓN DIFERENCIA NORMALIZADA (NDVI)

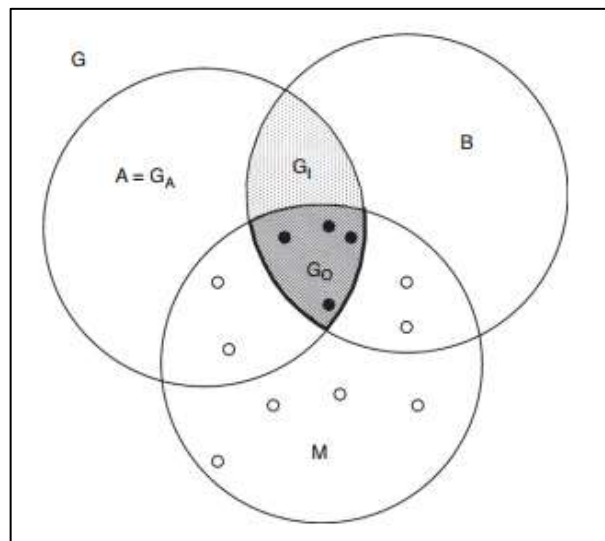
Es un índice normalizado que permite estimar la cantidad, calidad y desarrollo de la vegetación con base a la medición de la relación entre la energía absorbida y emitida por la vegetación (Chuvienco 2000), convirtiéndolo en una herramienta útil para caracterizar la vigorosidad vegetal (Chuvienco 2002) y, como índice cualitativo del funcionamiento de los ecosistemas (Rodríguez-Moreno 2013).

El NDVI es un índice no dimensional con valores que van de  $-1$  a  $+1$ , cuyos valores altos revelan alta actividad fotosintética de la cubierta vegetal (fenología foliar) y una estrecha relación con la evapotranspiración (Tucker & Sellers 1986); mientras que, valores bajos indican situaciones de escasa o nula actividades fotosintética.

### 2.16 DIAGRAMA BAM

El diagrama BAM es una representación idealizada del espacio geográfico G, donde se ilustran diferentes regiones (Soberón 2017). Tal como se observa en la Figura 1, una especie tiene altas posibilidades de ser observada en aquellas regiones del planeta donde: existan condiciones abióticas necesarias, simbolizada por "A"; existan

condiciones bióticas favorables, simbolizada por “B” (McGill, Enquist, Weiher y Westoby 2006) y hayan estado accesibles a la dispersión de la especie desde la región de su origen histórico, simbolizada por “M” que es referida a la región del planeta accesible a la dispersión (Svenning y Skov 2004), lo cual estará basado en la historia de la especie (Hortal, Lobo y Jimenez-Valverde 2012). La zona denotada por  $G_0$ , o área ocupada es la intersección de favorabilidad biótica y abiótica, y de accesibilidad histórica. Mientras que, la zona denotada por  $G_1$  es una región con condiciones favorables pero que se ha mantenido fuera de las capacidades de dispersión de la especie (Soberón *et al.* 2017).



**Figura 1: Diagrama BAM**

FUENTE: Soberón *et al.* (2017)

Es importante precisar que si bien el Diagrama BAM relaciona la interacción de tres de los más importantes factores que influyen en la distribución de una especie, un área de distribución depende de factores adicionales al nicho fundamental (Soberón y Peterson 2005). Entre los factores que determinan también el área de distribución de una especie, se encuentran sus tolerancias ambientales, la presencia o ausencia de otras especies (depredadores, presas, entre otros) y las posibilidades de dispersión en periodos de tiempo y desde áreas originales relevantes (Cain 1944; Gaston 2003; Good 1931; Udvardy 1969).

## 2.17 ALGORITMO MAXENT

El Algoritmo Maxent es un método de aprendizaje de máquina que contiene una configuración para realizar predicciones a partir de datos incompletos permitiendo modelar la distribución potencial de especies, fundamentándose en el principio de

máxima entropía para calcular la distribución geográfica más probable para una especie, estimando la probabilidad de ocurrencia de la especie buscando la distribución más uniforme posible (Phillips *et al.* 2006).

Maxent hace uso de las ubicaciones de las presencias de una especie y un conjunto de predictores ambientales en un área definida, extrayendo una muestra de ubicaciones que luego es contrastada con ubicaciones de presencia. La evaluación se realiza midiendo la proporción de casos clasificados incorrectamente; comisión (clasificar una ausencia como presencia) y omisión (clasificar una presencia como ausencia). La relación de dichos errores conforma el análisis de la Curva de Característica Operativa (ROC), obteniéndose el estadístico Área Bajo la Curva (AUC) que permite medir la precisión del modelo.

### **III. MATERIALES Y MÉTODOS**

#### **3.1 ÁREA DE ESTUDIO**

La investigación se realizó en el departamento de Cajamarca, el cual abarca la totalidad de los registros de presencia de la especie que fueron reportados desde el año 1995 hasta el año 2017 mediante monitoreos y estudios de línea de base ambiental desarrollados en la zona por las actividades mineras.

#### **3.2 MATERIALES**

##### **3.2.1 Materiales de campo:**

- Materiales de bioseguridad (guantes de látex, alcohol en gel, bolsas ziploc y agua destilada).
- Mapas de cobertura vegetal, Pedregosidad, uso actual, zonas de vida, imágenes Landsat.
- Shapefile del polígono del área de estudio.
- GPS Garmin eTrex 20x.
- Cronómetro.
- Guía de determinación de la especie *Pristimantis simonsii*.
- Cámara fotográfica réflex digital de un solo lente, con 24 megapíxeles.
- Laptop Core I5 2.5 GHz, 8Gb de RAM y Tarjeta de Video dedicada de 4 Gb.

##### **3.2.2 Materiales y herramientas de gabinete:**

- Registros de la especie *Pristimantis simonsii* obtenidos desde el año 1995 al 2015 (Minera Yanacocha S.R.L.).
- Bases de datos nacionales e internacionales de acceso libre; tales como, Global Biodiversity Information Facility (GBIF), Geo-servidor del MINAM y el Servicio Geológico de los Estados Unidos (USGS).
- Estudio de Zonificación Ecológica y Económica Base para el Ordenamiento Territorial del Departamento de Cajamarca (Gobierno Regional de Cajamarca 2011).
- Estudios de biodiversidad de la empresa Minera Yanacocha S.R.L.

- Software libre Maxent 3.4.1
- Software libre R 3.6.2
- Software libre Rstudio 3.0.1
- Software ArcMap con licencia de prueba para estudiantes 10.5
- Software libre Partial ROC 1.3.1

### **3.3 METODOLOGÍA**

#### **3.3.1 Muestreo de *Pristimantis simonsii***

El muestreo del Anuro se realizó mediante el método de Evaluación Estandarizada de Búsqueda (VES, Visual Encounter Survey) para especies de herpetofauna (Crump y Scott 1994). La cual consistió en la búsqueda intensiva de individuos de *P. simonsii* en una parcela de 200 x 10 metros (2 000 m<sup>2</sup>) por un tiempo de 30 minutos. Registrándolos tanto sobre el sustrato, como entre la vegetación presente y revisando potenciales lugares de refugio, incluyendo áreas entre rocas, piedras y/o vegetación. Este método es adecuado para especies de poca dispersión, además, es apropiado para muestrear distintos microhábitats (Davies y Winstead 1987; Heyer *et al.* 1994; Sélem-Salas *et al.* 2004). Adicionalmente, se realizaron registros oportunistas a lo largo de toda la evaluación en campo.

#### **3.3.2 Guía para el reconocimiento de la especie *Pristimantis simonsii***

Para el reconocimiento del anuro *P. simonsii* se hizo uso de las características claves definidas por Duellman y Lehr (2009), (Figura 2):

- Piel dorsal y ventral areoladas, sin doblez discoidal, presenta pliegues dorsolaterales.
- Sin diferenciación entre la membrana timpánica y anillo.
- Hocico redondeado de forma aguda en vista dorsal y redondeado en el perfil.
- Párpado superior carece de tubérculos y crestas craneales ausente.
- Hendiduras vocales ausentes, almohadillas nupciales presentes.
- Dedos carecen de franjas laterales.
- Talón y borde exterior del tarso carece de tubérculos.
- Tamaño en hembras adultas de 26.2 mm a 33.3 mm y, en machos adultos de 19.3 mm a 25.9 mm.
- Dorso marrón irregular marcado, vientre amarillo con o sin marca de color marrón.

- Dorso de color marrón opaco a rosado marrón con manchas de color marrón oscuro o marrón grisáceo uniforme a amarillo.
- Flancos son de color crema a gris, con o sin manchas negras o amarilla.
- El vientre de color blanco a amarillo cremoso con o sin reticulaciones grises o negras. El iris es de color bronce opaco con reticulaciones negras finas.



**Figura 2: Individuo de *Pristimantis simonsii***

FUENTE: Duellman y Lehr (2009).

### **3.3.3 Revisión y selección de registros**

Con la finalidad de reducir incertidumbre producto de la duplicidad de datos en la elaboración del modelo de distribución potencial, y como medida de control de calidad de los datos de presencia de la especie de Anuro, se revisó y verificó que la información contenida en las bases de datos contenga una correcta identificación de la especie y coordenadas dentro del área de estudio. Adicionalmente, se agregaron los registros geográficos de los individuos encontrados durante los trabajos de campo.

Se realizó la sistematización de los datos, haciendo uso del software libre Rstudio 3.0.1. La información resultante de la selección y validación de los registros, fue proyectada al SIG en coordenadas UTM WGS84, mediante el software ArcGis 10.5, para ser empleada en la fase de modelización de la distribución potencial.

Por último, se comparó la descripción del registro de cada individuo de la especie con la información visualizada en el SIG, eliminando los registros espaciales duplicados.

### 3.3.4 Procesamiento de las variables predictoras

Para una correcta caracterización del background data empleado en elaboración del modelo de distribución potencial, se proyectó en coordenadas UTM WGS84 las variables predictoras:

- **Variables predictoras cualitativas:**

Las variables Zona de Vida, Uso Actual, Cobertura Vegetal y Pedregosidad, fueron obtenidas del Estudio de Zonificación Ecológica y Económica del Departamento de Cajamarca.

- **Variables predictoras cuantitativas:**

Se hizo uso de un Modelo de Elevación Digital (DEM) obtenido a través de la plataforma del Geo-Servidor del Ministerio del Ambiente (MINAM) y, de las variables bioclimáticas que fueron obtenidas mediante la plataforma WoldClim - Global Climate Data.

El NDVI, fue calculado a partir de una Imagen Satelital LandSat, obtenida mediante la plataforma del Servicio Geológico de Estados Unidos.

### 3.3.5 Cálculo del NDVI

La imagen satelital obtenida del Servicio Geológico de Estados Unidos fue cargada al software ArcMap para realizar el cálculo NDVI, mediante la siguiente ecuación (Campbell 2002; Short *et al.* 2004; Rouse 2010):

$$NDVI = \frac{NIR - R}{NIR + R}$$

Donde:

- NIR= banda infrarroja
- R= banda roja

### **3.3.6 Selección de variables cuantitativas predictoras**

Los valores extraídos de las variables cuantitativas de los registros de presencia de la especie *P. simonsii* mediante el software libre Rstudio, se emplearon para un análisis de correlación y, descartar aquellos grupos de variables con alta colinealidad, a fin de reducir la dimensionalidad del modelo, seleccionando las variables que permitan una interpretación biológica adecuada.

### **3.3.7 Preparación de los registros de presencia**

Mediante el software Excel, se organizó la información en tres columnas con el nombre de la especie, la coordenada Este y la coordenada Norte. Posteriormente el archivo fue guardado en formato “.csv” tabulado por comas.

### **3.3.8 Preparación de las variables explicativas del modelo**

Mediante el uso de la herramienta “Extract by mask”, con una configuración de pixel de 30x30cm, se delimitaron las variables de entorno a la misma dimensión que el área de estudio. Finalmente, se transformaron las variables al formato ASCII (“.asc”), haciendo uso de la herramienta “Conversion tools” del software ArcGis 10.5, siendo este compatible con el software Maxent 3.3.3k.

### **3.3.9 Elaboración del modelo de distribución**

Se procedió a preparar los registros de presencia y las variables de entorno a los formatos necesarios para ser empleados en el software libre Maxent versión 3.3.3k.

Se configuró el software Maxent 3.3.3k con los siguientes parámetros para el área de estudio:

- Se activaron las siguientes opciones:
  - “Create response curve”
  - “Make picture of prediction”
  - “Do Jackknife to measure variable importance”
  - “Auto features”
  - “Random seed”
- Random test percentage: 30
- Replicates: 10
- Replicated run type: Subsample
- Maximum iterations: 5000



### **3.3.10 ROC Parcial**

Mediante el uso del software libre Partial ROC 0.1, el modelo de distribución desarrollado mediante Maxent 3.3.3k fue evaluado para obtener un gráfico de distribución del AUC del modelo.

### **3.3.11 Umbral de corte**

Con la finalidad de discretizar el modelo de distribución a un mapa de presencia/ausencia de la especie *P. simonsii* en Cajamarca. Se hizo uso del umbral “10 percentil training presence” que considera al 90% de los registros empleados durante la corrida del modelo, obteniendo así un mapa binario que permita una discrecionalidad de la distribución de la especie en el área de estudio en función al umbral de corte.

El proceso de conversión se realizó ingresando el modelo en formato ASCII al software ArcMap, para luego convertirlo a formato raster y, ser transformado de una escala continua (0 a 1, formato logístico) a una escala discreta (presencia/ausencia) mediante la herramienta “raster calculator”, otorgando el valor de 1 a las celdas con valores mayores o iguales al umbral “10 percentil training presence” y un valor de 0 a aquellas celdas menores a dicho umbral.

## IV. RESULTADOS Y DISCUSIONES

### 4.1 REGISTROS

Durante los últimos 40 años, se registró un total de 1055 individuos de la especie *Pristimantis simonsii*, de los cuales solo 894 cumplieron con criterios de selección y validación, tales como; ubicación espacial y sin duplicidad de data.

### 4.2 VARIABLES PREDICTORAS

Del total de 10 y 22 variables cualitativas y cuantitativas, respectivamente. Se determinó la selección del background data en función a la ecología de la especie, para el caso de las variables cuantitativas, y el cálculo de los coeficientes de correlación, en el caso de las variables cuantitativas.

#### 4.2.1 Variables predictoras cualitativas

La selección de las variables predictoras cualitativas se realizó haciendo uso de aquellas que están asociadas a la ecología de la especie *P. simonsii*, tal cual se mencionan a continuación:

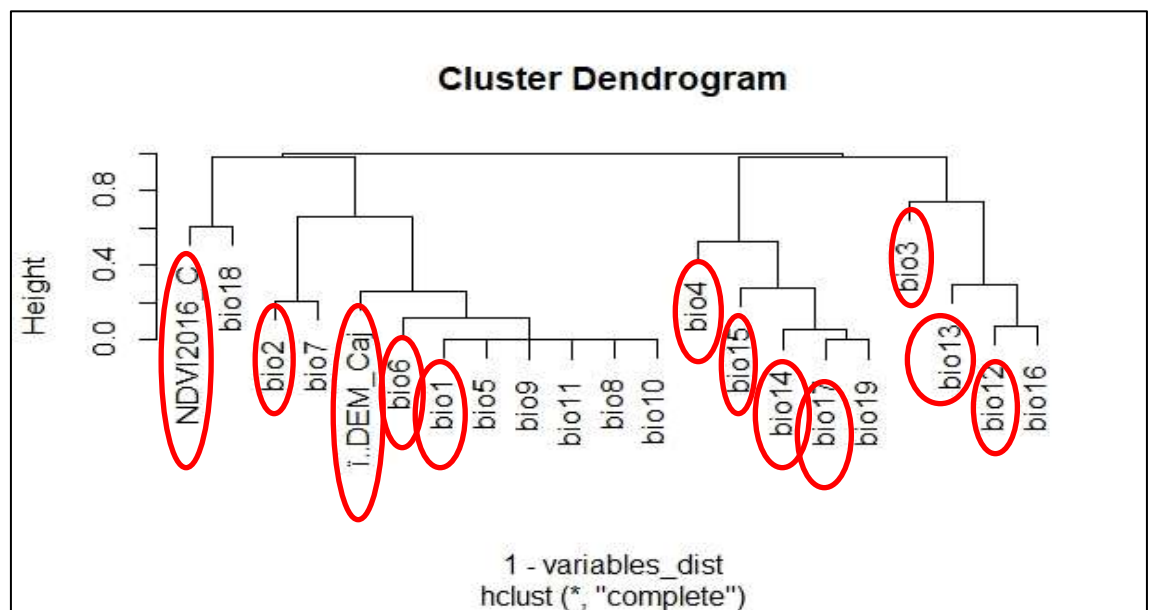
- Cobertura Vegetal (estructura vegetal que otorga alimento y refugio)
- Pedregosidad (ambientes adecuados para la puesta de huevos)
- Uso Actual (influencia antrópica por actividades económicas y/o centros poblados).
- Zona de Vida (unidades de información bioecológica y variables climáticas)

#### 4.2.2 Variables predictoras cuantitativas

Las variables bioclimáticas, que fueron utilizadas para generar el modelo cubrieron un intervalo temporal desde el año 1970 hasta 2000, son ampliamente utilizadas en la modelación de distribuciones geográficas potenciales (Rojas-Soto *et al.* 2012; Mateo *et al.* 2013) ya que permiten utilizar un mayor número de registros históricos de las especies obtenidos en diferentes años sin incurrir en incongruencias temporales entre los registros y las coberturas utilizadas para modelar.

Para reducir la colinealidad entre las variables bioclimáticas, Altitud y NDVI, se calculó la correlación para elaborar un dendrograma de análisis Cluster (Figura 3), del cual, para el caso de las variables que se encontraban altamente correlacionadas, se utilizaron las que explican mejor el patrón de distribución o que tuvieran una relación más directa con *P. simonsii* (Fitzpatrick *et al.* 2013), seleccionándose las siguientes variables:

- NDVI: Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada
- DEM: Modelo de Elevación Digital (Altitud)
- Bio1: Temperatura Media Anual
- Bio2: Rango Promedio Diurno
- Bio3: Isoterma
- Bio4: Estacionalidad de la Temperatura
- Bio6: Temperatura Mínima del Mes Más Frío
- Bio12: Precipitación Anual
- Bio13: Precipitación del Mes más Húmedo
- Bio14: Precipitación del Mes más Seco
- Bio15: Estacionalidad de la Precipitación
- Bio17: Precipitación del Cuarto mes Seco



**Figura 3: Análisis Cluster de las variables predictoras cuantitativas**

### 4.3 ANÁLISIS DE HÁBITATS EN FUNCIÓN A LAS VARIABLES PREDICTORAS

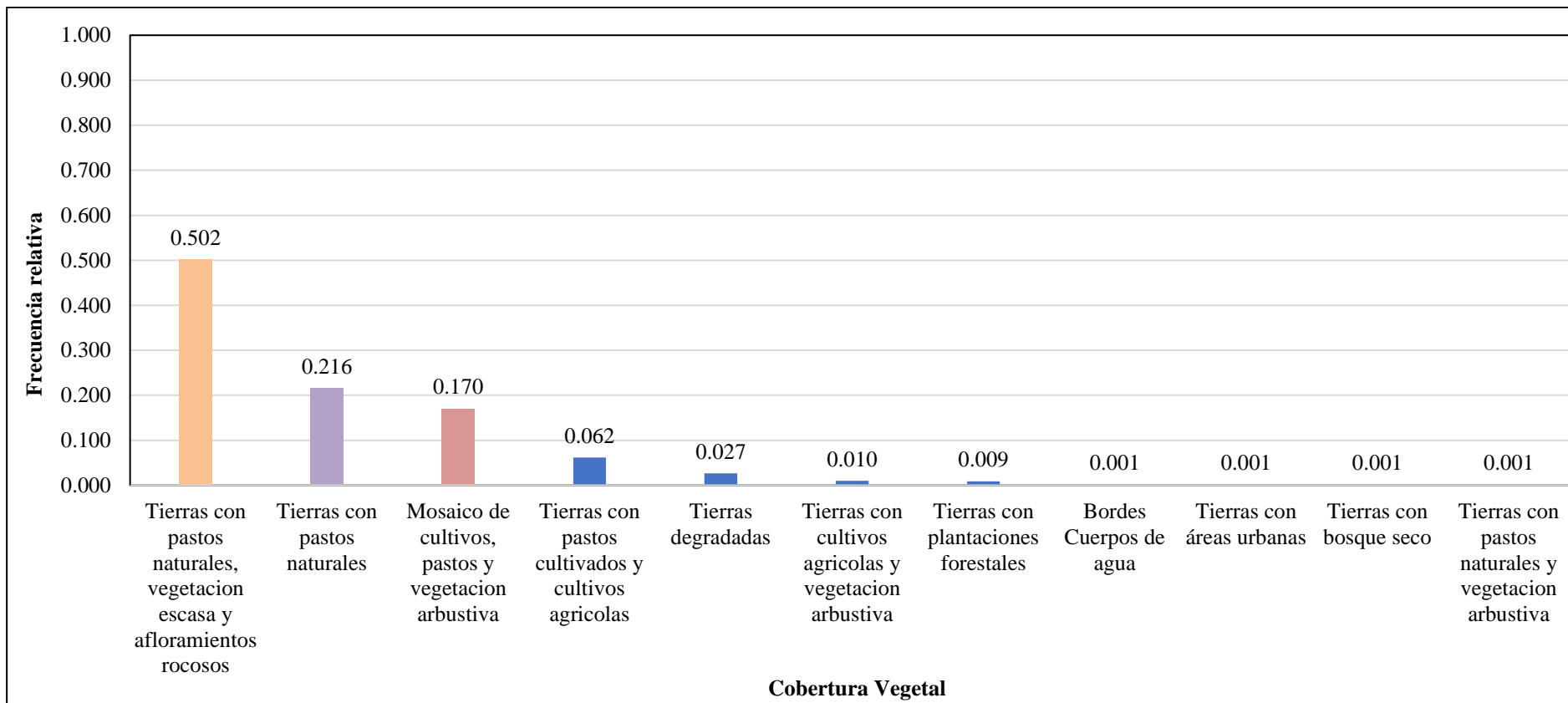
Para realizar el análisis de hábitats en función a las variables predictoras, se espacializaron los registros de los individuos en el background data para calcular la relación entre la presencia de la especie y la composición de cada variable mediante estadísticos de frecuencia:

- **Cobertura vegetal**

La preferencia de la especie por zonas con una menor densidad de vegetación representa una frecuencia relativa (fr) de 0.502 en tierras con pastos naturales, vegetación escasa y afloramientos rocosos, seguido de una disminución aproximada del 50% en tierras con pastos naturales (0.216), y en último lugar, los mosaicos de cultivos, pastos y vegetación arbustiva (0.170).

Las demás coberturas vegetales que presentaron una fr menor al 10% de vinculación respecto de la presencia de los individuo de anuro; tal es el caso de: tierras con pastos cultivados y cultivos agrícolas (0.062); tierras degradadas (0.027); tierras con cultivos agrícolas y vegetación arbustiva (0.010); tierras con plantaciones forestales (0.009); y por último, bordes de cuerpo de agua, tierras con áreas urbanas, tierras con bosque seco y, tierras con pastos naturales y vegetación arbustiva, cada uno con 0.001 de frecuencia relativa.

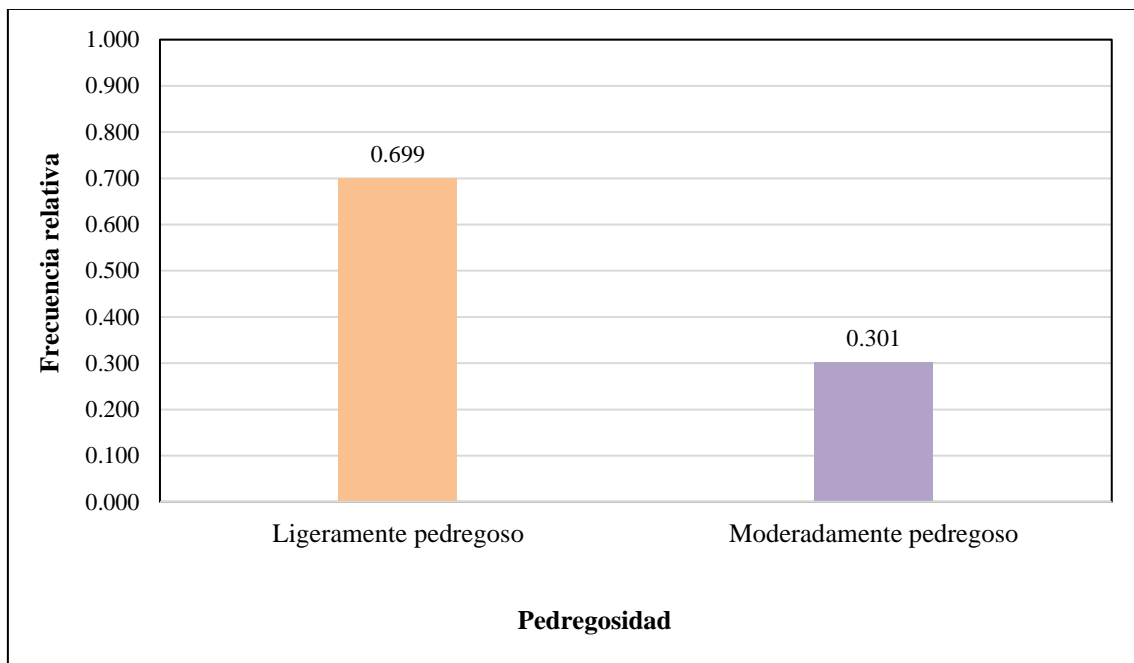
Se deduce que la especie de *P. simonsii*, tiene preferencia por áreas con piedras de tamaño medio donde colocan sus huevos en época de reproducción, debido a la ausencia de una fase larvaria. Mientras que, la segunda y tercera preferencia se caracterizan por tener una vegetación media que proveería de recursos alimenticios propios de su dieta (Figura 4).



**Figura 4: Frecuencia relativa de registros de presencia por tipo de Cobertura Vegetal en el área de estudio**

- **Pedregosidad**

La mayor fr fue registrada en zonas ligeramente pedregosas (0.699), y la menor fr en zonas moderadamente pedregosas (0.301). De lo cual, deberá considerarse que dichas frecuencias podrían estar condicionadas por la temporada reproductiva y no reproductiva en la que se encuentra la especie. Dado que, de encontrarse en temporada reproductiva, la especie tendría preferencia por zonas moderadamente pedregosas, toda vez que dichas zonas proporcionarían mayor probabilidad de éxito a la viabilidad de los huevos de la especie y/o por las probabilidades de éxito que otorgan dichas zonas con respecto a una mayor disponibilidad de refugio ante sus depredadores (Figura 5).



**Figura 5: Frecuencia relativa de registros de presencia por tipo de Pedregosidad en el área de estudio**

- **Uso Actual**

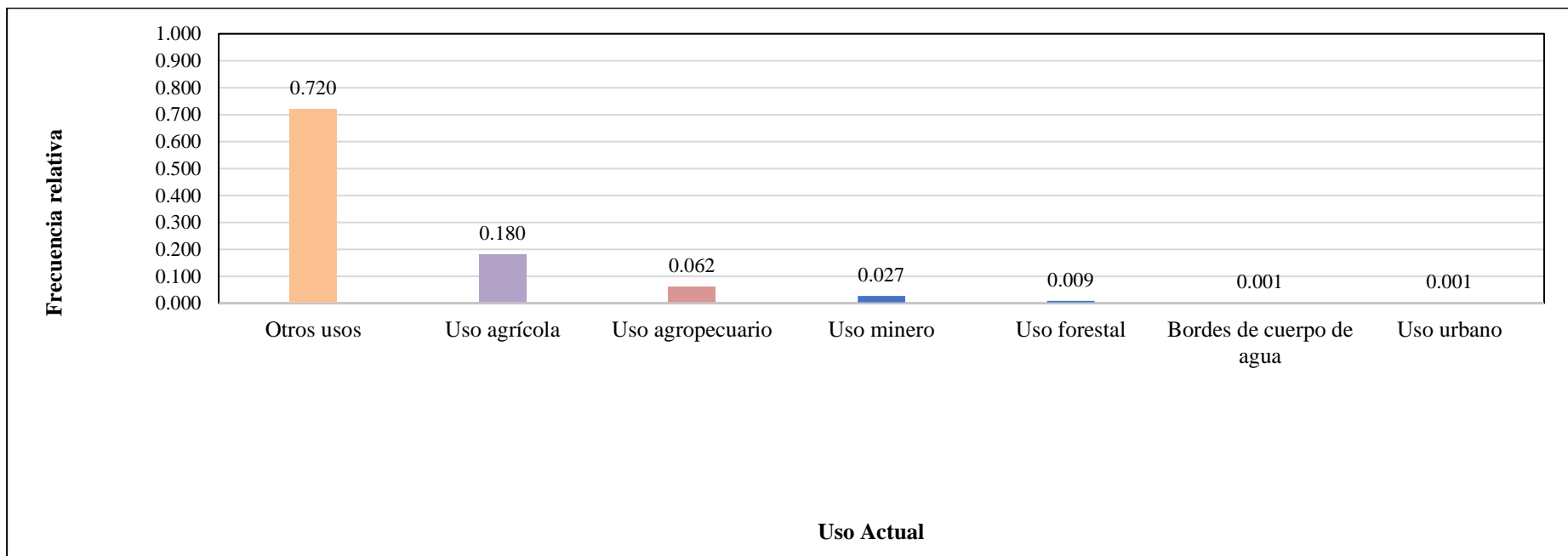
Es indispensable mencionar que esta variable está ligada sobre todo al relieve como un factor crítico en el desarrollo de actividades antrópicas. La mayor fr está en la categoría de otros usos (0.720), determinada principalmente por corresponder a zonas donde no se realizan actividades económicas directas; tales como, bosques, pastos naturales, vegetación arbustiva y zonas con afloramientos rocosos. Seguido por zonas de uso agrícola (0.180), uso agropecuario (0.062), uso minero (0.027), uso forestal (0.009), bordes de cuerpo de agua y uso urbano (ambos con 0.001).

Al respecto, los resultados reflejan que la especie ha sido registrada en un 72% en zonas de poca o nula actividad antrópica, evidenciando su sensibilidad ante alteraciones al ecosistema (Figura 6). Por lo cual, sería un potencial bioindicador de perturbación al ecosistema. Sin embargo, los registros existentes en zonas rehabilitadas que simulan una cobertura moderadamente pedregosa con estructura vegetal media, sugieren que también serían potenciales bioindicadores de la recuperación de ecosistemas perturbados.

- **Zona de Vida**

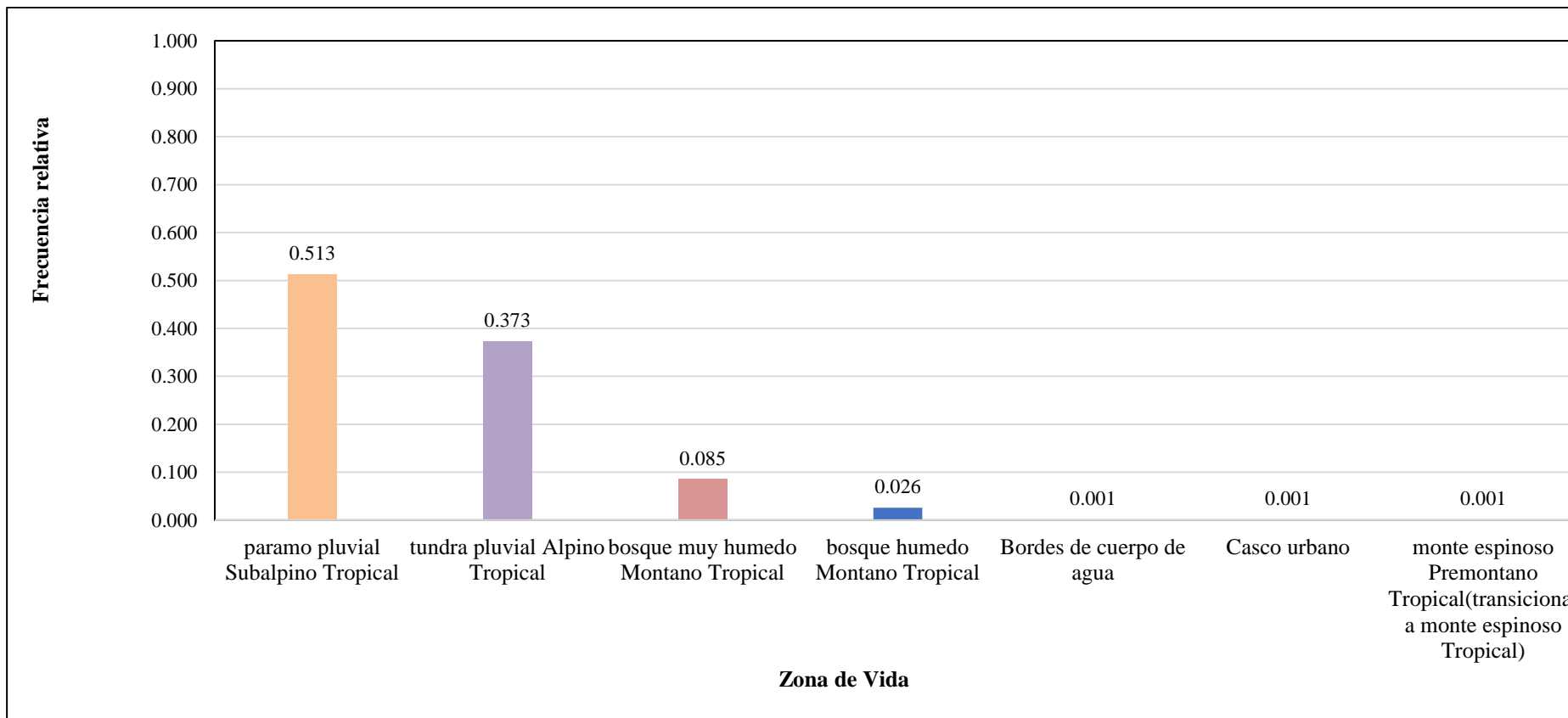
El páramo pluvial – Subalpino tropical presentó la mayor frecuencia de registros con 0.513, seguida por la Zona de vida tundra pluvial – Alpino tropical (0.373); bosque muy húmedo – Montano tropical (0.085); bosque húmedo – Montano tropical (0.026); y las tres últimas zonas en menor medida, zonas de bordes de cuerpos de agua; casco urbano; y, monte espinoso Premontano (transicional a monte espinoso tropical) con 0.001 de frecuencia relativa individualmente.

El 88.6% de los registros se encontraron en zonas con temperaturas bajas, precipitación pluvial alta y topografía desfavorable para el desarrollo de actividades económicas, limitando el acceso, desarrollo de actividades agropecuarias y el establecimiento de poblaciones (Figura 7). Según la definición de las zonas de vida, éstas revisten de gran importancia desde el punto de vista hidrológico; por lo cual, el Anuro evidencia nuevamente su potencial bioindicador debido a que está fuertemente relacionado a dichas zonas de vida y áreas de escasa intervención humana.



**Figura 6: Frecuencia relativa de registros de presencia por tipo de Uso Actual en el área de estudio**





**Figura 7: Frecuencia relativa de registros de presencia por tipo de Zona de Vida en el área de estudio**

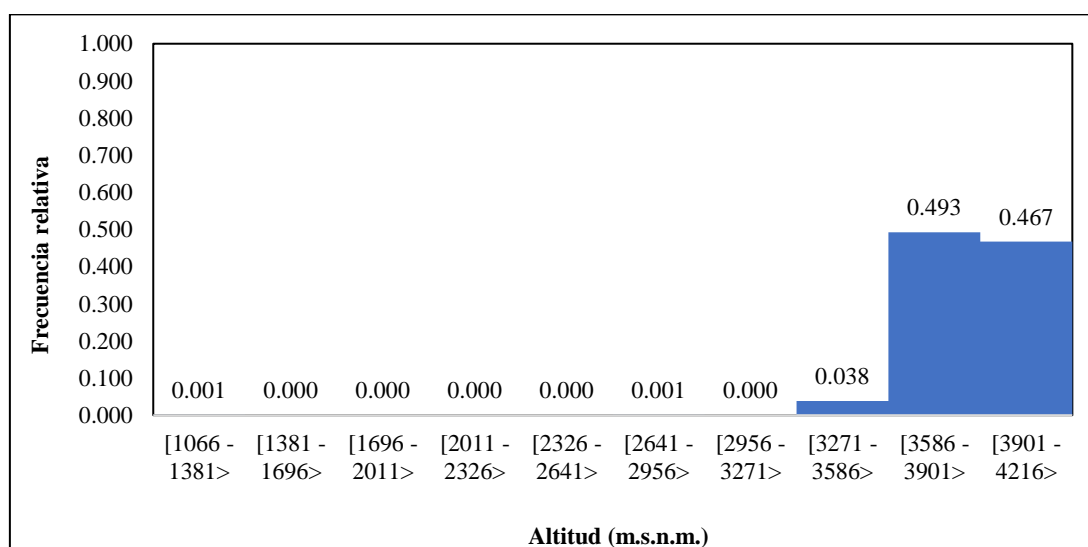
- **Altitud**

Desde la cota 3271 hasta los 4216 m.s.n.m se presentó el 98% de frecuencia relativa (Figura 8), siendo la mayor (49.3%) la zonas comprendidas en el rango de [3901 – 4216>, con 2.6% menos encontramos la presencia entre los 3271 hasta 3586 m.s.n.m. Finalmente, para las elevaciones comprendidas entre 3271 y 3586 con 3.8%.

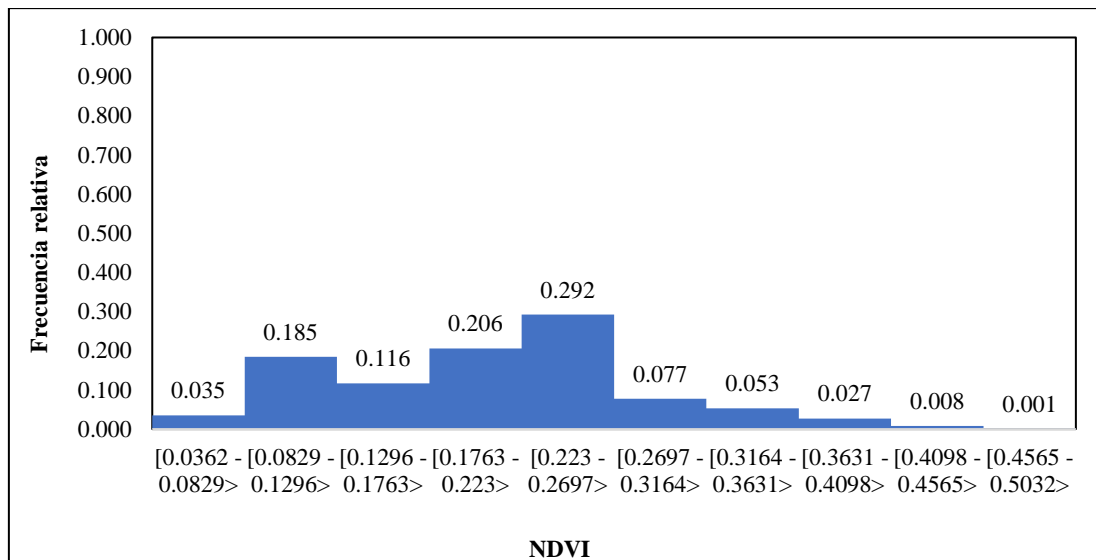
Por último, se presume presencia debido a que existe un registro de  $fr = 0.002$  entre los rangos [1066 – 3271]. Lo que sugiere la ampliación del rango de distribución altitudinal complementaria a lo mencionado por Icochea (2004).

- **NDVI: Índice de vegetación de diferencia normalizada**

El 22% de los registros, ubicados en áreas con  $NDVI < 0.1296$ , corresponden a áreas con vegetación escasa con mayor cantidad de pedregales y espejos de agua. Un 32,2%, ubicados en áreas con  $0.1296 \leq NDVI < 0.2230$ , pertenecen a áreas de vegetación ligeramente acompañada de pedregales; y el 45.8%, ubicados en áreas con  $NDVI \geq 0.2230$ , están dentro de áreas con vegetación media acompañada de pedregales. Estos resultados son debido a que los individuos de *P. simonsii* tienen preferencia por zonas consideradas ligeras a medianamente productivas en función a la biomasa fotosintéticamente activa calculada en función a la radiación absorbida y reflejada (Figura 9).



**Figura 8: Frecuencia relativa de registros de presencia por altitud en el área de estudio**



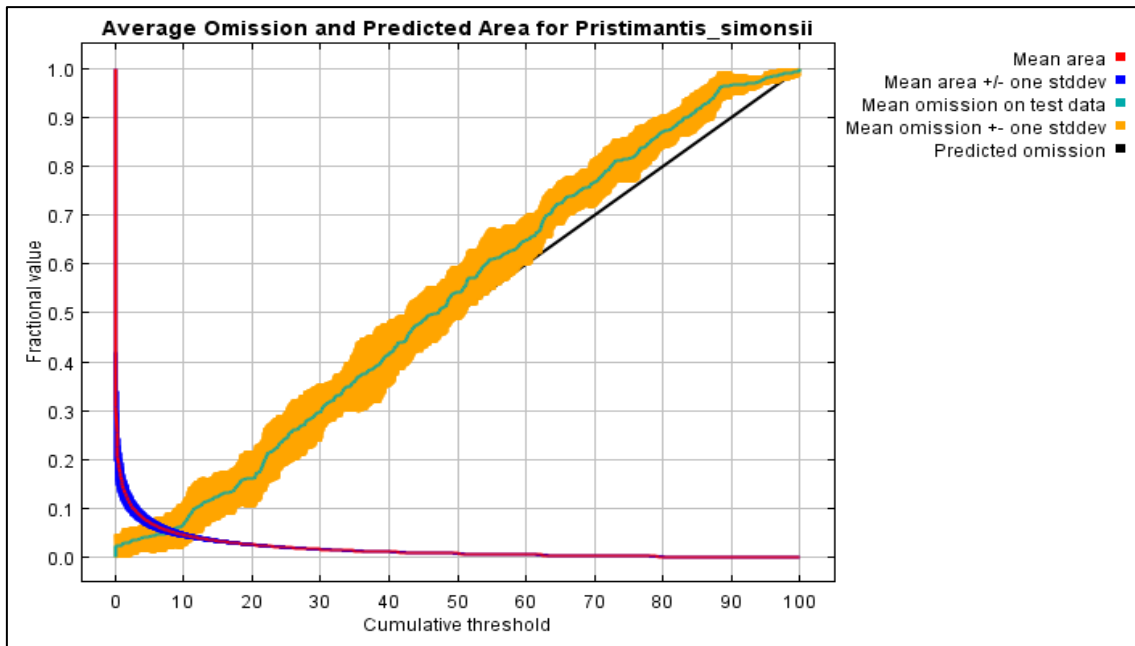
**Figura 9: Frecuencia relativa de registros de presencia por NDVI en el área de estudio**

#### 4.4 ANÁLISIS DE OMISIÓN DEPENDIENTE DEL UMBRAL

La tasa de omisión de pendiente de umbral es una estadística que indica el rendimiento del modelo. De las iteraciones de los registros de especie y el background data se obtuvo una tasa de omisión de prueba que se ajusta muy bien a la tasa de omisión del área predicha, como una función de umbral acumulativo promediado sobre las repeticiones. El área media (línea roja) indica las fracciones de los puntos de fondo elegidos aleatoriamente e incluidos en el área predicha para cada umbral acumulativo (cumulative thresholds).

Las fracciones de presencia ubicados por fuera del área potencial (fraction value) son consideradas en la media de omisión de prueba (línea verde). Es decir, la Figura 10 representa la estimación de la distribución del modelo desarrollado para *P. simonsii*, con sus respectivas desviaciones estándar, indicando un buen ajuste a la omisión predicha para la obtención de un modelo lo más cercano a la realidad.

El análisis de la tasa de omisión se realiza con un umbral para predecir de manera binaria, condiciones adecuadas por encima del umbral e inadecuadas por debajo del mismo, mostrando la forma en que varían las tasas de omisión para la muestra de entrenamiento, control y el área predicha como favorable en función al umbral elegido durante la corrida del modelo.



**Figura 10: Promedio de omisión de prueba y área predicha para la especie *Pristimantis simonsii* en el área de estudio**

#### 4.5 ANÁLISIS DE PRUEBA INDEPENDIENTE DEL UMBRAL

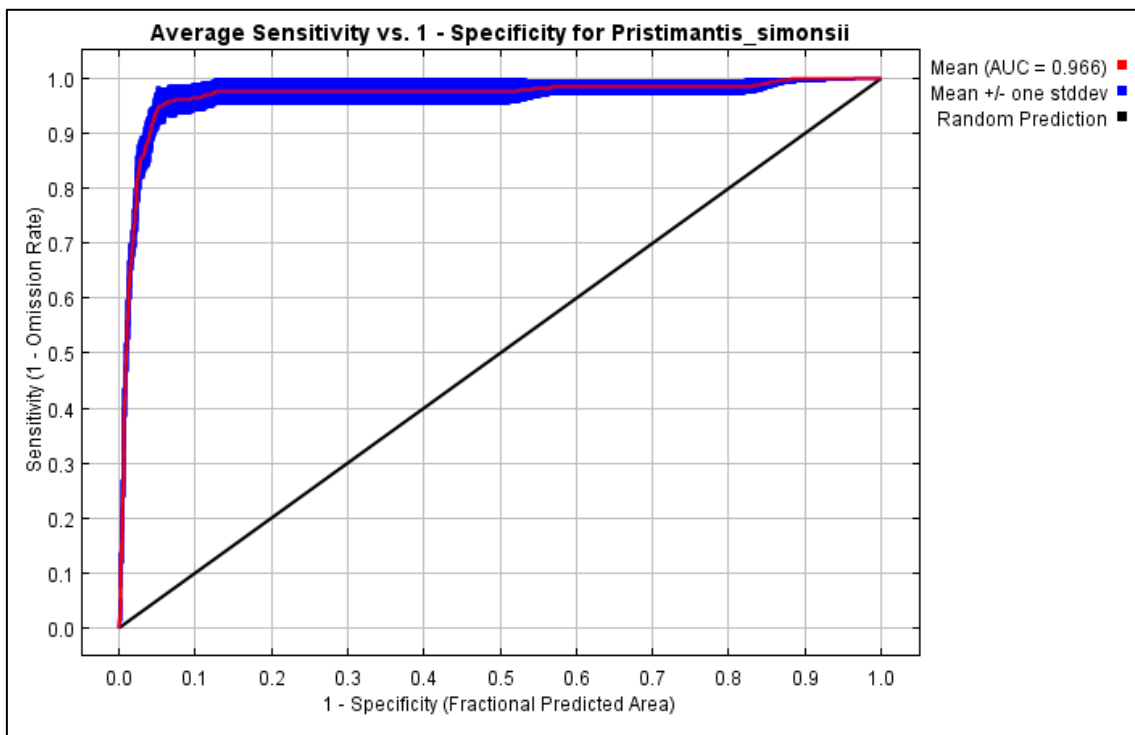
Producto de la relación entre la especificidad y la sensibilidad, se traza la curva de respuesta de las variables y su contribución a la distribución potencial del Anuro *P. simonsii*, Curva de Característica Operativa (ROC) del modelo, del cual se obtiene el estadístico AUC (Área Bajo la Curva) que permitirá medir la precisión del modelo desarrollado para la especie.

La especificidad es la fracción del área predicha ubicada en el eje “X” que, se refiere a la fracción de las áreas totales de estudio donde se realiza el modelado de la distribución potencial (Manel *et al.* 2001; Beauvais *et al.* 2006); y, la sensibilidad que está ubicada en el eje “Y”, es la proporción de las presencias dentro del área de ocurrencia predicha en relación con el número total de presencia (Phillips 2009).

En el modelo, se observa el desplazamiento promedio del ROC como resultado de las repeticiones realizadas para el modelamiento de la distribución potencial de *P. simonsii* en el área de estudio, evidenciando que el modelo es mejor que el azar ( $AUC > 0.5$ ), dando como respuesta un AUC de prueba promedio de 0.966 y una desviación estándar 0.016 (Figura 11).

Tomando como referencia lo planteado por Araújo *et al.* (2005) con respecto al estadístico AUC, el modelo desarrollado para el área de estudio es Excelente, con una desviación estándar aceptable ( $<0.05$ ), representando una capacidad del 96.6% para predecir la presencia de un individuo de la especie *P. simonsii* escogida al azar en el área de estudio (Fielding, A.H. & Bell, J.F. 2007).

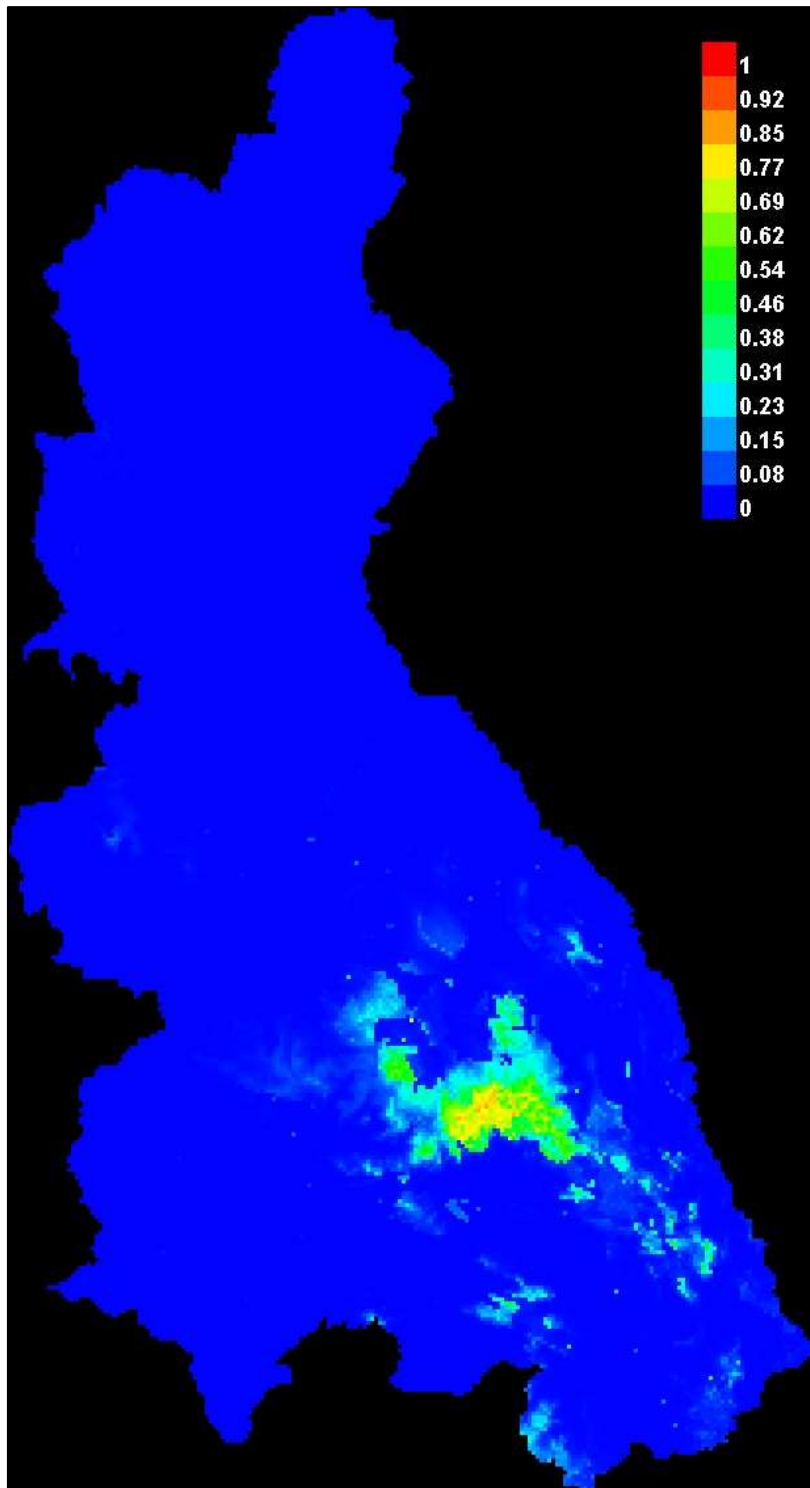
Generalmente el AUC es aceptado como el mejor indicador para evaluar los resultados del modelo (Phillips & Miroslov 2008). Sin embargo, más adelante se realizarán pruebas adicionales de validación tales como ROC Parcial, la prueba de Jackknife y una contrastación con la distribución ecológica recientemente propuesta por la IUCN.



**Figura 11 Promedio de curva de característica operativa (ROC) del área de estudio**

#### 4.6 MODELOS DE DISTRIBUCIÓN

El uso de los datos de solo presencia de *P. simonsii* fue relevante para el modelamiento debido a que dicha información itera con las variables de fondo, otorgando probabilidades de potencial distribución de la especie y generando pseudoausencias para la evaluación del modelo. Razón por la cual no fue indispensable la obtención de datos de ausencias estrictas que requieren de protocolos de monitoreo rigurosos, volviéndolos difícil y poco probables de encontrar en las bases de datos nacionales e internacionales con registros históricos (Galparsoro *et al.* 2009).



**Figura 12: Modelo de distribución logística de la especie *Pristimantis simonsii* en el área de estudio**

El modelo representa la probabilidad de presencia de la especie *P. simonsii*. Con un rango de incremento de cero (superficie azul) a uno (superficie roja), (Figura 12). Sin embargo, es importante precisar que, si bien el modelo de distribución potencial desarrollado para *P. simonsii* cuenta con un alto poder predictivo de su distribución, debe ser corroborado

en campo con monitoreos periódicos, dado que uno de los componentes importantes para la distribución ecológica de una especie, es la relación interespecífica con otras especies como lo serían sus depredadores, presas, entre otros. Variables que no han sido consideradas en el presente modelo debido a la poca información existente sobre su ecología. Además, posteriores monitoreos de la especie pueden contribuir a la determinación de que variables serían más importantes en su modelamiento de distribución.

#### 4.7 CONTRIBUCIÓN DE VARIABLES

De las variables ambientales empleadas para el desarrollo del modelo de distribución, se estimaron las contribuciones relativas de cada variable:

**Tabla 1: Contribuciones relativas de las variables al modelo de distribución en el área de estudio**

Variable	Porcentaje de Contribución (%)
DEM	41.5
Zona de vida	16.6
Pedregosidad	12.4
Cobertura vegetal	7.4
Bio1	5.9
Bio2	4.9
Bio6	4.6
Bio13	2.4
Bio14	1.5
Bio4	0.8
Bio3	0.8
Uso Actual del Suelo	0.6
Bio12	0.5
NDVI	0.1
Bio17	0.1

La Tabla 1 muestra que la elevación y las zonas de vida, son las variables con mayor poder predictivo, dado que contribuyeron al modelo en 58.1%. Las cuales coinciden con los resultados de aporte mediante la prueba de Jacknife (Tabla 1; Figura 14). Es decir que,

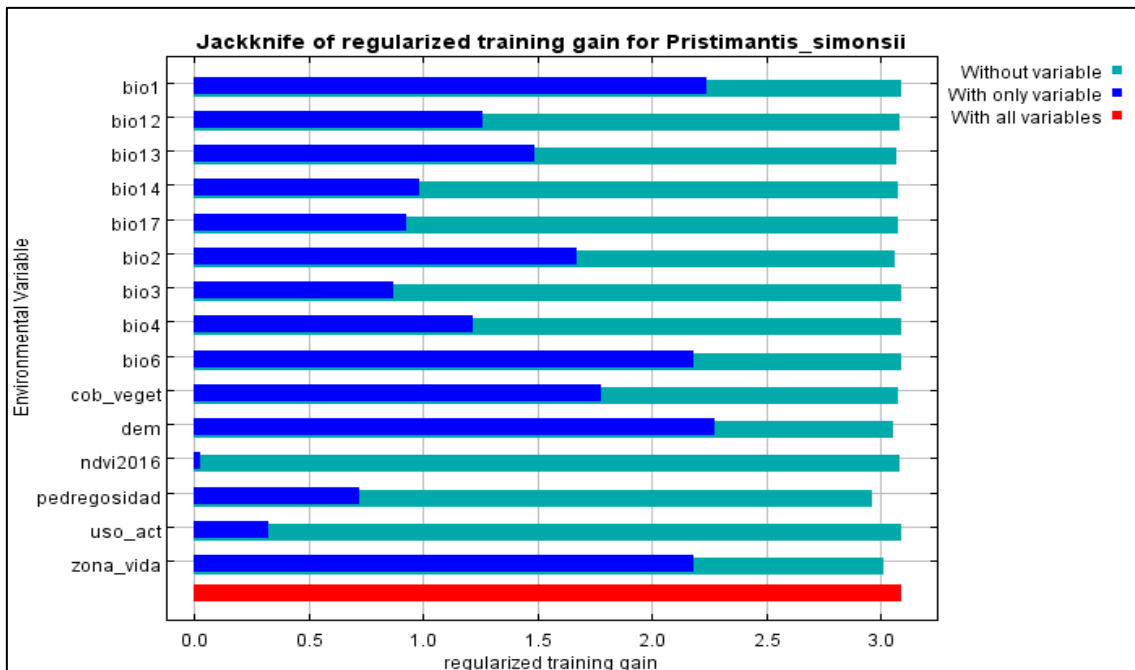
la distribución geográfica potencial de la especie estaría mejor condicionada por las variables de elevación y zonas de vida para este modelo.

#### 4.8 VALIDACIÓN DE LOS MODELOS

Se realizaron las pruebas de Jackknife y ROC Parcial. Además, considerando que la IUCN actualizó el rango de distribución de la especie de anuro *P. simonsii*, se hará uso de sus resultados para realizar una comparación con el modelo desarrollado en la presente investigación, a fin de reforzar la validación del modelo.

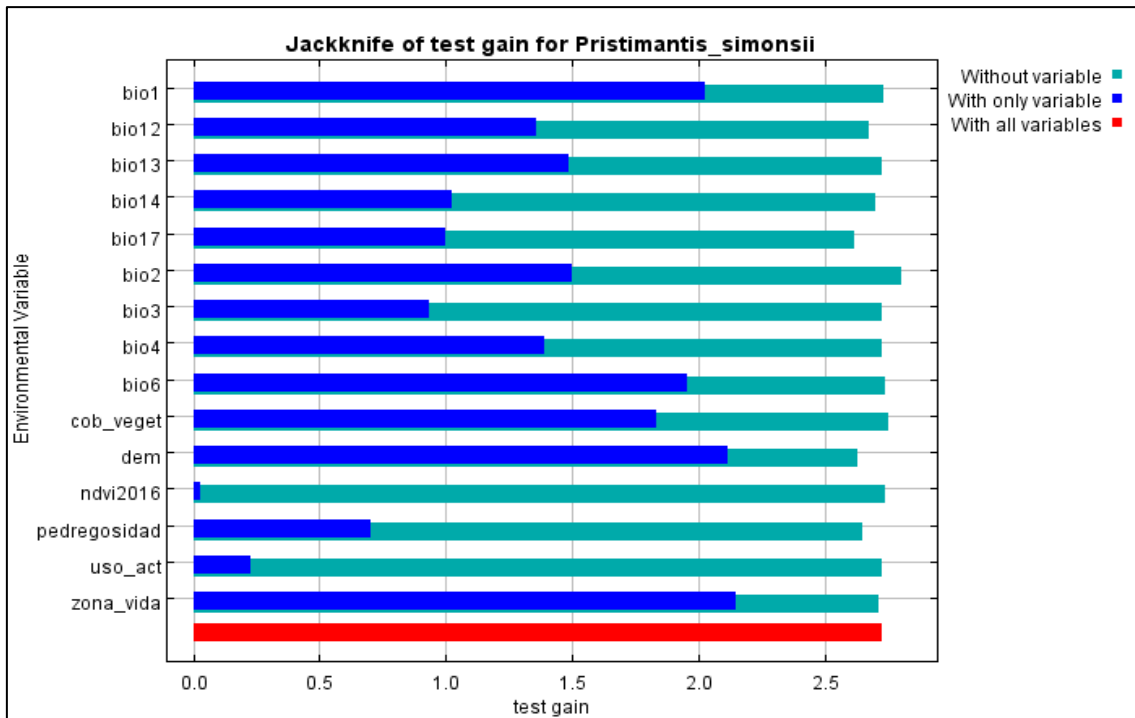
##### 4.8.1.1 Prueba de Jackknife

Evalúa la ganancia de entrenamiento regularizado, la ganancia de prueba y el AUC del modelo de distribución potencial de *P. simonsii*. Para el caso del entrenamiento regularizado (Figura 13), se observa que la altitud desarrolla la mayor ganancia (2.2739) al ser empleado de manera independiente, seguida por las variables Temperatura Media Anual (2.2407), Temperatura Mínima del Mes Más Frío (2.1869) y Zona de Vida (2.1853). Sin embargo, a pesar que existen variables que desarrollan poca ganancia durante el entrenamiento regularizado, la omisión de dichas variables no representa mayor ganancia en el poder predictivo durante el entrenamiento; por lo cual, su inclusión es necesaria.

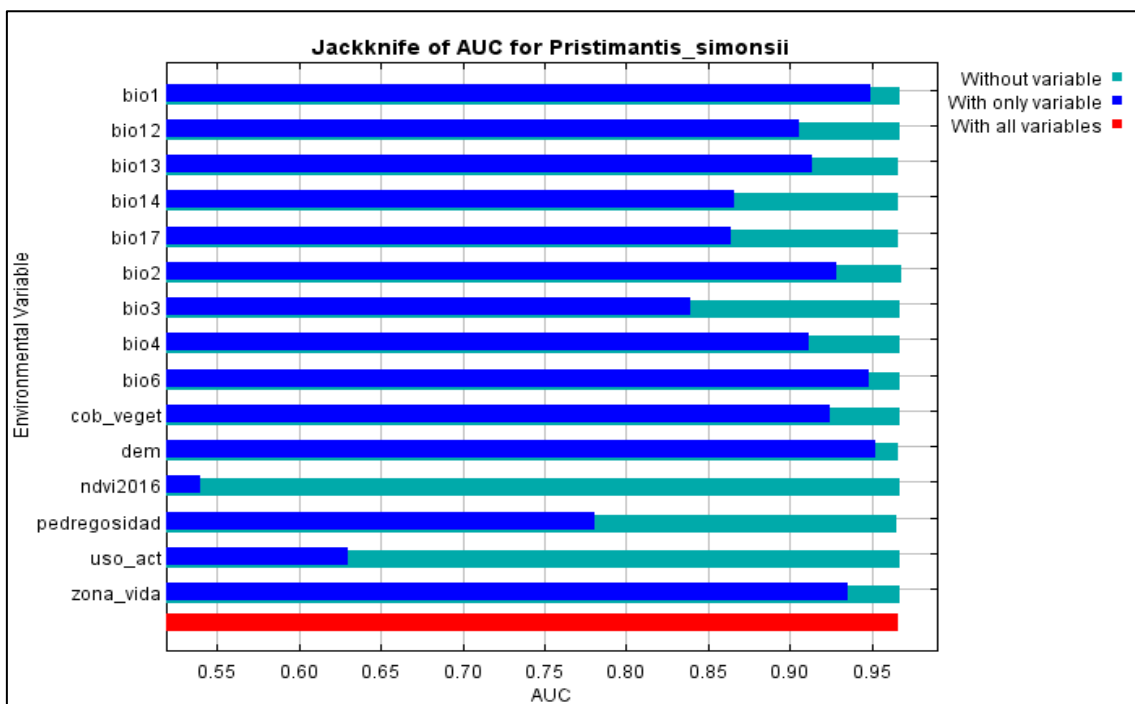


**Figura 13: Prueba de Jackknife para la ganancia de entrenamiento regularizado del modelo de distribución de la especie *P. simonsii* en el área de estudio**





**Figura 14:** Prueba de Jackknife para la ganancia de prueba del modelo de distribución de la especie *P. simonsii* en el área de estudio



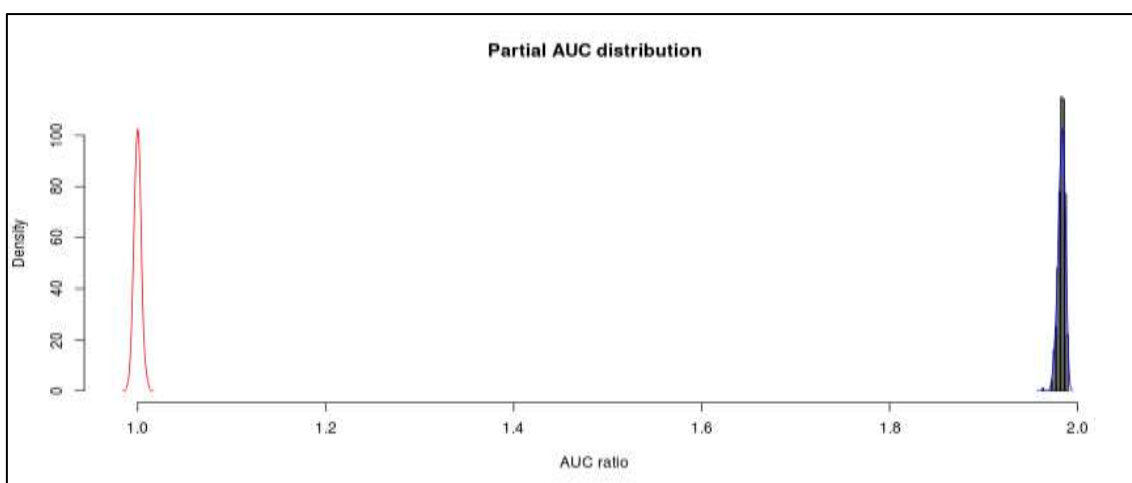
**Figura 15:** Prueba de Jackknife para el AUC del modelo de distribución de la especie *P. simonsii* en el área de estudio

En la Figura 14, la variable Zona de Vida presentó la mayor ganancia para la prueba del modelo (2.1494), seguida muy de cerca por la altitud (2.1177), Temperatura Media Anual (2.0245) y la Temperatura Mínima del Mes Más Frio (1.9559). Por otro lado, si bien las demás variables presentaron valores menores, destaca el NDVI (0.0289) con poca capacidad de poder predictivo y su omisión no alteraría el modelo (2.7373). Por lo cual, si bien las especies dependen de la estructura vegetal para desarrollarse, en el modelo no sería tan relevante como la Altitud y la Zona de Vida.

Al evaluar el rendimiento del modelo (Figura 15), las variables zonas de vida, altitud, Temperatura Media Anual y la Temperatura Mínima del Mes Más Frio muestran valores de ganancia de poder predictivo por encima del 93.5% cuando son empleadas independientemente. Por lo cual, las variables empleadas en el modelo otorgan un alto poder predictivo de las zonas potenciales en las que se encuentra la especie.

#### 4.8.1.2 ROC Parcial

En el caso del ROC Parcial, tal como se observa en la Figura 16, la curva roja representa la distribución aleatoria del AUC, mientras que la curva azul representa la distribución del AUC del modelo, evidenciándose una diferencia significativa entre el AUC de la predicción del modelo y el AUC al azar. Es decir, el modelo de distribución potencial en el área de estudio se aleja significativamente del azar.



**Figura 16: Prueba de ROC Parcial del modelo de distribución de la especie *P. simonsii* en el área de estudio**

#### 4.9 UMBRAL DE CORTE

Debido a que la salida logística que otorga Maxent es un mapa de distribución continua (0 al 100%), y con el fin de generar un mapa que permita la identificación de zonas adecuadas de la distribución potencial de la especie *P. simonsii*, la salida logística fue discretizada a un mapa de presencia/ausencia haciendo uso del umbral de corte “10 percentil training presence” para convertirlo a una distribución de datos binarios.

En la Figura 17 se muestra en color celeste las zonas inadecuadas para la distribución de la especie. Mientras que, en color naranja se presentan las zonas determinadas como potenciales áreas de distribución de la especie. En la Tabla 2 se presenta, en hectáreas, las áreas respectivas para la zona inadecuada (3 197 609.29 ha) y el área correspondiente a la zona de distribución potencial de la especie con 84 692.23 ha.

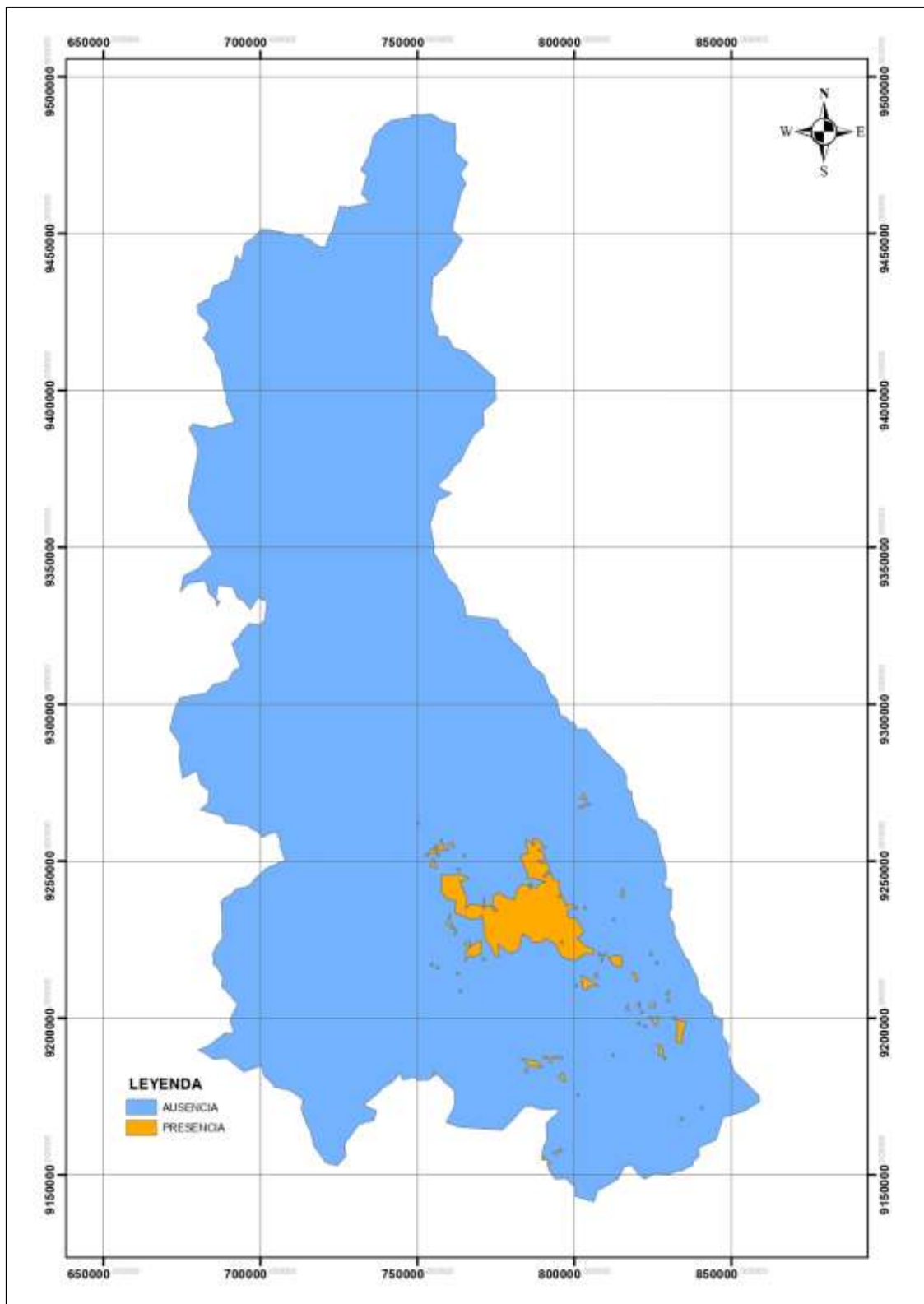
**Tabla 2: Área de distribución de la especie *P. simonsii* en el área de estudio**

Zonas	Color	Área (ha)
Inadecuada	Celeste	3 197 609.29
Adecuada	Naranja	84 692.23

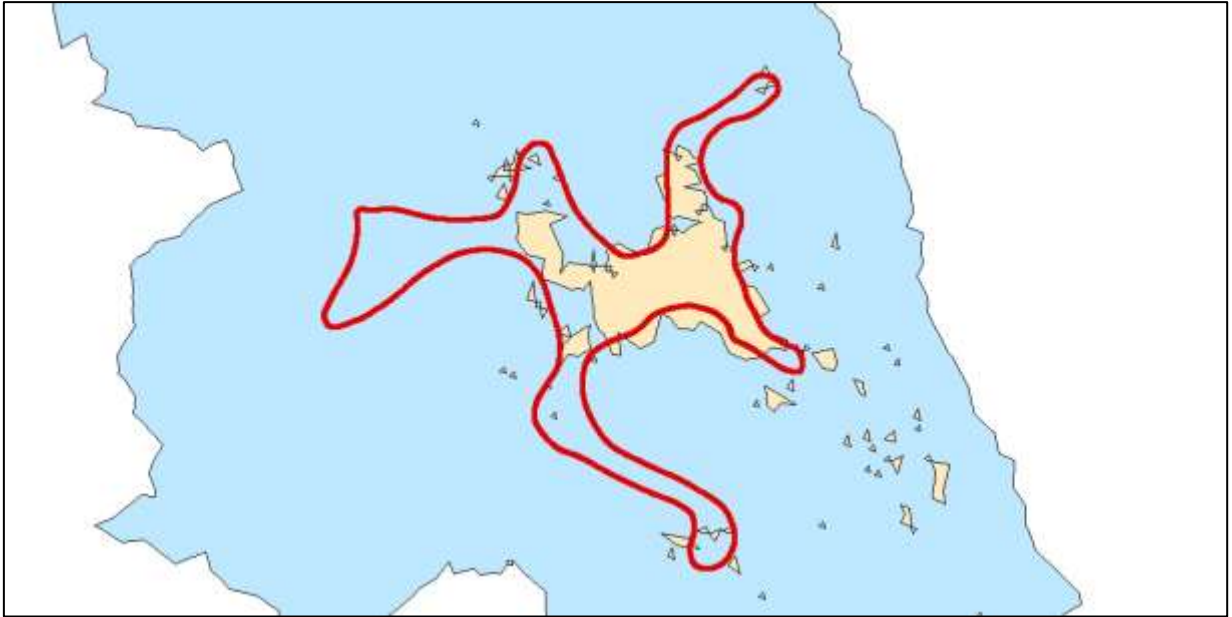
#### 4.10 CONTRASTACIÓN CON LA DISTRIBUCIÓN PROPUESTA POR LA IUCN

Para la contrastación con la distribución ecológica desarrollada por la IUCN (2019), se realizó la superposición de ésta sobre el modelo desarrollado en la presente investigación (Figura 18). Se tiene que 76 572.81 ha del modelo desarrollado se encuentran dentro del área propuesta por la IUCN, es decir que el 94.41% del área considerada en el modelo de distribución potencial se encuentra incluido. Por lo cual, la nueva información proporcionada por la IUCN cuenta con un área mayor al propuesto en la presente investigación, ello se debe a que solo considera de manera espacial los registros disponibles, considerando tanto las áreas ocupadas e invadibles; mientras que el modelo desarrollado en la presente investigación considera; además, la relación existente entre los registros de presencia de la especie con las variables de entorno que condicionan las áreas ocupadas por la especie. Sin embargo, tal como se indicó en el ítem 4.6, es necesario que se realicen monitoreos en el área de distribución potencial planteada para la especie *P. simonsii* para corroborar el modelo de distribución ya que no se han considerado las

relaciones interespecíficas del Anuro con respecto a otras especies que podrían estar en la zona.



**Figura 17: Modelo discretizado de presencia (naranja)/ausencia (celeste) de la especie *P. simonsii* en el área de estudio**



**Figura 18: Comparación de la distribución ecológica actualizada de la especie *Pristimantis simonsii* (línea roja; IUCN, 2019) versus el modelo de distribución ecológica potencial (color naranja) en el área de estudio, (elaboración propia)**

## V. CONCLUSIONES

1. El mapa de rango de la distribución de *Pristimantis simonsii* muestra la mayor probabilidad de presencia de la especie en un área de 84 692.23 ha en la zona Sureste (área ocupada e invadible), con una capacidad predictiva del 96.6%. El área traslapada del modelo (76 572.81 ha) con la desarrollada por la IUCN en el año 2019, corrobora los resultados obtenidos ya que el modelo, además de considerar los registros de presencia, valora la interacción con el entorno, mostrando un área cercana a la realidad.
2. Las variables; Altitud, Zona de Vida, Pedregosidad y Cobertura Vegetal, aportaron en un 77.9 % al desarrollo del modelo; por lo cual explican en mayor medida la distribución de la especie. Complementariamente, al contrastar la contribución de las variables con la prueba de Jackknife se evidencia que, las variables ambientales con mayor ganancia cuando se usan aisladamente son la Altitud, Zona de Vida, Temperatura Mínima del Mes más Frío y la Temperatura Media Anual.
3. La alta cantidad de registros de presencia provenientes de bases de datos, estudios independientes y la comprobación de registros en campo, aunado al empleo de variables relacionadas a las condiciones ambientales y ecología de *Pristimantis simonsii*, permitió estimar un modelo de distribución uniforme con un excelente poder predictivo. Evidenciando la ampliación del rango altitudinal de la especie, desde los 1066 hasta 4216 m.s.n.m.; una baja relación con el gradiente de vegetación y potencial bioindicador de zonas rehabilitadas y/o poco intervenidas por actividades económicas. Asimismo, resaltó el alto grado de relación directa con la Altitud, Zonas de Vida, Pedregosidad, Temperatura Media Anual y la Temperatura Mínima del Mes más Frío.

## VI. RECOMENDACIONES

1. La información particular generada para *Pristimantis simonsii* puede apoyar la planeación, ejecución y evaluación de acciones de conservación (Baldwin, 2009), el conocimiento sobre los factores que influyen en la distribución de la especie; tales como: la altitud, Zonas de Vida, Pedregosidad, Temperatura Media Anual y la Temperatura Mínima del Mes Más Frio, son de importancia para los investigadores y administradores de la vida silvestre, ya que el estudio y seguimiento de las variaciones en las variables pueden contribuir en la evaluación de los posibles cambios que puedan ocurrir en el área de distribución a partir de las modificaciones esperadas bajo condiciones de cambio climático para las próximas décadas.
2. Realizar muestreo de *Pristimantis simonsii* haciendo uso del mapa de distribución ecológica potencial generado, para ajustar el mapa de la distribución de la especie.
3. Realizar estudios de la ecología de *Pristimantis simonsii* con la finalidad de obtener información respecto a las relaciones interespecíficas que pueda tener el Anuro con otras especies a fin de determinar las zonas con mejores condiciones para la protección y manejo.
4. Investigar la relación existente de *Pristimantis simonsii* con las zonas correspondientes a áreas restauradas y zonas con poca intervención de actividades económicas, para el desarrollo del potencial bioindicador de la especie.
5. Considerar la metodología desarrollada para modelar la distribución potencial de otras especies en peligro de extinción, a fin de realizar un manejo de dichas especies de manera más precisa y eficiente.

## VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Araújo MB, Pearson RG, Thuiller W, Erhard M. 2005. Validation of species – climate impact models under climate change. *Global Change Biology* 11: pp 1504 – 1513.

Baldwin, R. A. 2009. Use of maximum entropy modeling in wildlife research. *Entropy*, 11: pp 854-866.

Beauvais G.P., D.A. Keinath, P. Hernandez, L. Master & R. Thurston. 2006. Musing upon depicting the geographic arrangement of biota, with ample reference to the harsh lessons of the dark master experience. *Element Distribution Modeling: A Primer, Version 2.0-1 June 2006*: 40 p.

Boulenger, G. A. 1900. Descriptions of new batrachians and reptiles collected by Mr. P. O. Simons in Peru. *Annals and Magazine of Natural History, Series 7*, 6: pp 181-186.

Brown, J. H. and M. V. Lomolino. 1998. *Biogeography*. 2<sup>nd</sup> edition, Sinauer Associates, Inc. Sunderland, Massachusetts. 691 p.

Buehler, E.C. & Ungar, L.H. 2001. Maximum Entropy Methods for Biological Sequence Modeling. *BIOKDD*: pp 60–64.

Cain, S. A. 1944. *Foundations of plant geography*. 7<sup>a</sup> edition. Harper & Brothers, New York: 556 p.

Campbell, James B. 2002. *Introduction to remote sensing*. 3rd ed. New York, Guilford Press 2002: pp 605-606.

Carrascal L.M. & Palomino D. 2006. Rareza, estatus de conservación y sus determinantes ecológicos. Revisión de su aplicación a escala nacional. *Graellsia*, 62 (número extraordinario): pp 523-538.

Chuvieco, E. 2000. *Fundamentos de teledetección espacial*. Madrid, Rialp 1990: 453 p.



Chuvienco, E., Martín, M. P., Palacios, A. 2002. Assessment of different spectral indices in the red-near-infrared spectral domain for burned land discrimination. *International Journal of Remote Sensing*, 23 (23): pp 5103-5110

Corbalán M. 2004. Uso de hábitat y ecología poblacional de pequeños mamíferos del desierto del Monte Central, Mendoza, Argentina. Tesis doctoral, Facultad de Ciencias Naturales y Museo, Universidad Nacional de La Plata, La Plata, Argentina. pp 70-95.

Crump, M.L. & Scott, N.J. 1994. Visual Encounter Surveys. Measuring and Monitoring Biological Diversity. Standard Methods for Amphibians. Eds. Heyer, W., Donnelley, M.A., McDiarmid, R.A., Hayec, L.C. & Foster, M.C. Smithsonian Institution Press. Washington, DC: pp 23-32.

Dajoz, R. 2001. Tratado de ecología. Ediciones Mundi Prensa. España 151 p.

Davies, D.E. & Winstead, R.L. 1987. Estimación de tamaños de poblaciones de vida Silvestre. En *Técnicas de Gestión de Vida Silvestre*. T.R. Rodríguez (Ed.). The Wildlife Society, Inc. Washington, D.C. pp 233-258.

Duellman William E. & Lehr Edgar. 2009. Terrestrial – Breeding Frogs (Strabomantidae) in Peru. *Natur und Tier – Verlag GmbH*: pp 238-239.

Duellman, W. E. & E. Lehr, William E. 2007. Frogs of the Genus *Eleutherodactylus* (Leptodactylidae) in the Cordillera Occidental in Peru with Descriptions of Three New Species. *Scientific Papers. Natural History Museum. University of Kansas. Number 39*: pp 1–13.

Elith, J., Graham, C. H., Anderson, R. P., Dudík, M., Ferrier, S., Guisan, A., Hijmans, R. J., Huettmann, F., Leathwick, J. R., Lehmann, A., Li, J., Lohmann, L. G., Loiselle, B. A., Manion, G., Moritz, C., Nakamura, M., Nakazawa, Y., Overton, J. McC., Peterson, A. T., Phillips, S. J., Richardson, K. S., Scachetti-Pereira, R., Schapire, R. E., Soberón, J., Williams, S., Wisz, M. S. and Zimmermann, N. E. 2006. Novel methods improve prediction of species distributions from occurrence data. *Ecography* 29: pp 129–151.

Elith, J.; Phillips, Steven J.; Hastie, Trevor; Dudík, Miroslav; En Chee, Yung; Yates, Colin J. 2011. A statistical explanation of MaxEnt for ecologists. – *Divers. Distrib.* 17: pp 43–57.

Fielding, A.H. & Bell, J.F. 2007. A review of methods for the assessment of prediction errors in conservation presence/ absence models. *Environmental Conservation* 24(1): pp 38-49.

Fitzpatrick, M. C., Gotelli, N. J. & Ellison, A. M. 2013. MaxEnt versus MaxLike: empirical comparisons with ant species distributions. *Ecosphere*, 4: 55. Consultado el 20 set. 2019. Disponible en <http://dx.doi.org/10.1890/ES13-00066.1>.

Forey, P. L., C. J. Humphries & R. I. Vane-Wright. 1994. Systematics and conservation evaluation. *Systematics Association Special Volume No. 50*, Clarendon Press. Oxford, Reino Unido. pp 207-227.

Fuentes, C. 2017. Actualización de la distribución ecológica potencial del Anuro *Pristimantis simonsii* (Boulenger, 1900) en las áreas de influencia de Yanacocha y Conga. Tesis de grado, Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Agraria la Molina, Lima, Perú. pp 45 – 70.

Galparsoro, I., Borja, A., Bald, J., Liria, P. & Chust, G. 2009. Predicting suitable habitat for the European lobster (*Homarus gammarus*), on the Basque continental shelf (Bay of Biscay), using Ecological-Niche Factor Analysis. *Ecological Modeling*, 220: pp 556-567.

García-R, Juan Carlos, Posso-Gómez, Carmen Elisa, & Cárdenas-Henao, Heiber. 2015. Diet of direct-developing frogs (Anura: Craugastoridae: *Pristimantis*) from the Andes of Western Colombia. *Acta Biológica Colombiana*, 20(1), pp 79-87.

Gaston, K. 2003. The structure and dynamics of geographic ranges. Oxford: Oxford University Press: pp 678–683.

Gobierno Regional de Cajamarca. 2016. Datos generales. Consultado el 15 enero 2016. Disponible en [http://www.regioncajamarca.gob.pe/gerencias.php?index=com\\_content&view=article&id=29&Itemid=177](http://www.regioncajamarca.gob.pe/gerencias.php?index=com_content&view=article&id=29&Itemid=177)

Good, R. D. 1931. A theory of plant geography. *The New Phytologist*, 30. pp 149–171.

Grigera, D., C. Úbeda & A. Reza. 1996. Estado de conservación de las aves del Parque y Reserva Nacional Nahuel Huapi. *Hornero*, 14: pp 1–13.

He, F., Legendre, P. & LaFrankie, J. 1996. Spatial pattern of diversity in a tropical rain forest of Malaysia. *Journal of Biogeography* 23: pp 57-74.

- Hernandez, P. A., C. H. Graham, L. L. Master y D. L. Albert. 2006. The effect of sample size and species characteristics on performance of different species distribution modeling methods. *Ecography* 29: pp 773–785.
- Heyer, W.R., Donnelly, M.A., McDiarmid, R.W., Hayek, L.C. & M.S. Foster. 1994. Measuring and monitoring biological diversity: Standard methods for amphibians. Smithsonian Institution Press, Washington, DC. 154 p
- Hijmans, R.J., Phillips, S., Leathwick, J. and Elith, J. 2015. Dismo: Species Distribution Modeling. R Package Version 1.0-12. Consultado el 20 agosto 2018. Disponible en <http://CRAN.R-project.org/package=dismo>
- Hortal, J., Lobo, J. M. y Jiménez-Valverde, A. 2012. Basic questions in biogeography and the (lack of) simplicity of species distributions: putting species distribution models in the right place. *Natureza & Conservacao*, 10: pp 108–118.
- Hutchinson, G. E. 1957. Concluding remarks. *Cold Spring Harbor Symposia on Quantitative Biology*, 22: pp 415–427.
- Icochea, J., E. Lehr & C. Aguilar. 2004. *Pristimantis simonsii*. IUCN. 2016. IUCN Red List of Threatened Species. Versión 2016.1. Consultado 20 enero 2017. Disponible en [www.iucnredlist.org](http://www.iucnredlist.org)
- IUCN. 2020. Categorías de las Listas Rojas de la IUCN (Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza). Comisión de Supervivencia de Especies de la IUCN. Consultado 10 enero 2020. Disponible en <http://www.iucn.org>
- IUCN. 2016. Categorías de las Listas Rojas de la IUCN (Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza). Comisión de Supervivencia de Especies de la IUCN. Consultado 4 enero 2017. Disponible en <http://www.iucn.org>
- IUCN. 2015. Categorías de las Listas Rojas de la IUCN (Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza). Comisión de Supervivencia de Especies de la IUCN. Consultado 12 agosto 2015. Disponible en <http://www.iucn.org>
- Jonhson, D. 1980. The comparison of usage and availability measurements for evaluating resource preference. *Ecology* 61: pp 65-71.

- Kumar, S. & Stohlgren, T. J. 2009. Maxent modeling for predicting suitable habitat for threatened and endangered tree *Canacomyrica monticola* in New Caledonia *Journal of Ecology and Natural Environment* Vol. 1(4): pp 94–98.
- Manel, S., H.C. Williams & S.J. Ormerod. 2001. Evaluating presence-absence models in ecology: the need to account for prevalence. *Journal of Applied Ecology* 38: pp 921 – 931.
- Manly, B.L.; McDonald, L. & Thomas, D. 1993. *Resource Selection by Animals. Statistical design and analysis for field studies.* Chapman and Hall. London. 42 p.
- Mateo, R. G., de la Estrella, M., Felicísimo, A. M., Muñoz, J. & Guisan, A. 2013. A new spin on a compositionalist predictive modelling framework for conservation planning: A tropical case study in Ecuador. *Biological Conservation*, 160: pp 150-161.
- McGill, B. J., Enquist, B. J., Weiher, E. y Westoby, M. 2006. Rebuilding community ecology from functional traits. *Trends in Ecology and Evolution*, 21: pp 179–185.
- Miranda, A. 2009. Amphibia declination in the Cajamarca's jalca, chronicles and evidence. *Escuela de Postgrado – UNC*, 2008. pp 55 – 62.
- Municipalidad Provincial de Celendín. 2016. Datos generales. Consultado el 10 enero 2016. Disponible en [http://www.municelendin.gob.pe/index.php?option=com\\_content&view=article&id=29&Itemid=177](http://www.municelendin.gob.pe/index.php?option=com_content&view=article&id=29&Itemid=177).
- Pawar S., Koo M. S., Kelley C., Ahmed M. F., Chaudhuri S. y Sarkar S. 2007. Conservation assessment and prioritization of areas in Northeast India: Priorities for amphibians and reptiles. *Biological Conservation* 136: pp 346-361.
- Pearson, R. G., Raxworthy, C. J., Nakamura, M. & Peterson, T. A. 2007. Predicting species distributions from small numbers of occurrence records: a test case using cryptic geckos in Madagascar. *Journal of Biogeography*, 34: pp 102-117.
- Phillips, S. and Dudik, M. 2008. Modeling of species distributions with MaxEnt: new extensions and a comprehensive evaluation. – *Ecography* 31: 161 p.
- Phillips, S. J. & D. Miroslav. 2008. Modelling of species distribution with Maxent: New extensions and comprehensive evaluation. *Ecography* 31: pp 161 – 175.

- Phillips, S. J., Dudík, M., Elith, J., Graham, C. H., Lehmann, A., Leathwick, J. & Ferrier, S. 2009. Sample selection bias and presence-only distribution models: implications for background and pseudo-absence data. *Ecological Applications*, 19: pp 181-197.
- Phillips, S.J., R. P. Anderson y R. E. Schapire. 2006. Maximum entropy modeling of species geographic distributions. *Ecological Modeling* 190: pp 231–259.
- Quinzio, S.; Goldberg, J.; Cruz J.; Chuliver, M. & Fabrezi M. 2015. La morfología de los anuros: pasado, presente y futuro de nuestras investigaciones. *Cuad. Herpetol* 29: pp 51-67.
- Ríos, M.; Londoño, G.; Muñoz, M. & Kattan, G. 2008. Abundancia y endemismo en la pava caucana (*Penelope perspicax*): ¿ecología o historia? *The Neotropical Ornithology Society. Ornitología neotropical*. 19 (sppl.): pp 295-303.
- Rodríguez, L.O., Cordova, J.H. & Icochea, J. 1993. Lista preliminar de los anfibios del Perú. Museo de Historia Natural. Universidad Nacional Mayor de San Marcos. Lima. Perú 45: pp 1-22.
- Rodríguez-Moreno, V. M., Bullock, S. H. 2013. Comparación espacial y temporal de índices de la vegetación para verdor y humedad y aplicación para estimar LAI en el desierto Sonorense. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 4(4): pp 611-623.
- Rojas-Soto, O. R., Sosa, V., Ornelas, J. F. 2012. Forecasting cloud forest in eastern and southern. Mexico: conservation insights under future climate change scenarios. *Biodiversity and Conservation*, 21: pp 2671-2690.
- Rosenzweig M. 1995. Species diversity in space and time. Cambridge University Press. Cambridge. Reino Unido. 436 p.
- Rowston C, Catterall C, Hurst C. 2002. Habitat preferences of squirrel gliders *Petaurus noforcelncis* in the fragmented landscape of southeast Queensland. *Forest Ecology and Management*. 164: pp 197-209.
- Sélem-Salas, C., Sosa, J. & Hernández, S. 2004. Aves y Mamíferos, En: Bautista, F., H. Delfín, J.L. Palacios y M.C. Delgado. Técnicas de muestreo para manejadores de recursos naturales. Universidad Nacional Autónoma de México, Universidad Autónoma de Yucatán, CONACYT e Instituto Nacional de Ecología, México. pp 125 – 150.

- Soberón, J. 2017. Diferencias conceptuales entre modelación de nichos y modelación de áreas de distribución. *Revista Mexicana de Biodiversidad*. Consultado el 11 marzo 2017. Disponible en <http://dx.doi.org/10.1016/j.rmb.2017.03.011>
- Soberón, J. y Peterson, A. T. 2005. Interpretation of models of fundamental ecological niches and species' distributional areas. *Biodiversity Informatics*, 2: pp 1-10.
- Svenning, J. C. y Skov, F. 2004. Limited filling of the potential range in European tree species. *Ecology Letters*, 7: pp 565–573.
- Tilman, D. 1994. Competition and Biodiversity in Spatially Structure Habitats. *Ecology* 75: pp 2-16.
- Tognelli M. F., Roig-Juñent S. A., Maravaldi A. E., Flores G. E. y Lobo J. M. 2009. An evaluation of methods for modelling distribution of Patagonian insects. *Revista Chilena de Historia Natural* 82: pp 347 – 360.
- Torres R. & Jayat J. 2010. Modelos predictivos de distribución para cuatro especies de mamíferos (Cingulata, Artiodactyla y Rodentia) típicas del Chalco en Argentina. *Mastozoología Neotropical*, 17(2): pp 335-352.
- Tucker, C. J., Sellers, P. 1986. Satellite remote Sensing of primary production. *International Journal of Remote Sensing*, 7: pp 1395-1416.
- Udvardy, M. 1969. *Dynamic zoogeography, with special reference to land animals*. New York: van Nostrand Reinhold. pp 16 - 18.
- Yost A. C., Petersen S. L., Gregg M. y Miller R. 2008. Predictive modeling and mapping sage grouse (*Centrocercus urophasianus*) nesting habitat using Maximum Entropy and long-term dataset from Southern Oregon. *Ecological Informatics* 3: pp 375 – 386.