UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA

ÁREA AGROPECUARIA Y DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES

CARRERA DE INGENIERÍA EN MANEJO Y CONSERVACIÓN DEL MEDIO AMBIENTE

TEMA:

"ESTUDIO DE LA DISTRIBUCIÓN DE ANFIBIOS EN EL PÁRAMO DEL PARQUE NACIONAL PODOCARPUS, FRENTE A POSIBLES ESCENARIOS DE CAMBIO CLIMÁTICO".

Tesis de Grado Previa a la Obtención del Título de: **INGENIERO EN MANEJO Y CONSERVACIÓN DEL MEDIO AMBIENTE**

AUTOR: Edison Geovanny Guzmán Sarango

DIRECTOR: Nikolay Aguirre M. PhD.

LOJA-ECUADOR

2015

CERTIFICACIÓN

En calidad de Director de la tesis titulada **"ESTUDIO DE LA DISTRIBUCIÓN DE ANFIBIOS EN EL PÁRAMO DEL PARQUE NACIONAL PODOCARPUS, FRENTE A POSIBLES ESCENARIOS DE CAMBIO CLIMÁTICO"**, de autoría del señor egresado de la Carrera de Ingeniería en Manejo y Conservación del Medio Ambiente **Edison Geovanny Guzmán Sarango**, certifico que se ha realizado dentro del cronograma aprobado, por lo que autorizo su presentación y publicación.

Loja, 18 de junio de 2015.

Atentamente,

Ing. Nikolay Aguirre M. PhD.
DIRECTOR DE TESIS

CERTIFICACIÓN

En calidad de Tribunal Calificador de la Tesis Titulada: **"ESTUDIO DE LA DISTRIBUCIÓN DE ANFIBIOS EN EL PÁRAMO DEL PARQUE NACIONAL PODOCARPUS, FRENTE A POSIBLES ESCENARIOS DE CAMBIO CLIMÁTICO"**, de la autoría del señor egresado **Edison Geovanny Guzmán Sarango** de la Carrera de Ingeniería en Manejo y Conservación del Medio Ambiente, certifican que han incorporado todas las sugerencias efectuadas por sus miembros.

Por lo tanto autorizamos al señor egresado, su publicación y difusión.

Loja, 18 de junio de 2015

Atentamente,

Ing. Pablo Alvarez Figueroa Mg. Sc.

PRESIDENTE DEL TRIBUNAL .....

Ing. Freddy Tinoco Tinoco Mg. Sc.

VOCAL DEL TRIBUNAL .....

Ing. Diana Ochoa Gordillo Mg. Sc.

VOCAL DE TRIBUNAL .....

AUTORÍA

Yo, Edison Geovanny Guzmán Sarango, declaro ser autor del presente trabajo de tesis y eximo expresamente a la Universidad Nacional de Loja y a sus representantes jurídicos, de posibles reclamos o acciones legales, por el contenido del mismo.

Adicionalmente acepto y autorizo a la Universidad Nacional de Loja, la publicación de mi tesis en el Repositorio Institucional-Biblioteca Virtual.

Edison Geovanny Guzmán Sarango

2100938311

Loja, 18 de junio del 2015

CARTA DE AUTORIZACIÓN DE TESIS POR PARTE DEL AUTOR PARA LA CONSULTA, REPRODUCCION PARCIAL O TOTAL Y PUBLICACIÓN ELECTRONICA DEL TEXTO COMPLETO

Yo, Edison Geovanny Guzmán Sarango, declaro ser autor de la tesis Titulada **"ESTUDIO DE LA DISTRIBUCIÓN DE ANFIBIOS EN EL PÁRAMO DEL PARQUE NACIONAL PODOCARPUS, FRENTE A POSIBLES ESCENARIOS DE CAMBIO CLIMÁTICO"**, como requisito para optar al grado de: Ingeniero en Manejo y Conservación del Medio Ambiente, autorizo al Sistema Bibliotecaria de la Universidad Nacional de Loja para que con fines académicos, muestre al mundo la producción intelectual de la Universidad, a través de la visibilidad de su contenido de la siguiente manera en el Repositorio Digital Institucional.

Los Usuarios puedan consultar el contenido de este trabajo en el RDI, en las redes de información del país y el exterior, con los cuales tenga convenio la Universidad.

La Universidad Nacional de Loja, no se responsabiliza por el plagio o copia de la tesis que realice un tercero.

Para constancia de esta autorización, en la ciudad de Loja, a los dieciocho días del mes de junio de dos mil quince, firma el autor.

Edison Geovanny Guzmán Sarango

Cedula: 2100938311

Dirección: Barrio Daniel Álvarez, Loja, Ecuador

Teléfono: 0999160088

Correo: eddygzm@gmail.com

Datos complementarios

Directora de tesis: Ing. Ing. Nikolay Aguirre M. PhD.

Tribunal de Grado: Ing. Pablo Álvarez Figueroa Mg. Sc.

Ing. Freddy Tinoco Tinoco Mg. Sc.

Ing. Diana Ochoa Gordillo Mg. Sc.

AGRADECIMIENTOS

Quiero expresar mi más profundo agradecimiento a todos quienes de alguna manera hicieron posible el desarrollo del presente trabajo de investigación.

A la Universidad Nacional de Loja, a la Carrera de Ingeniería en Manejo y Conservación del Medio Ambiente, y a todos mis profesores quienes me impartieron sus conocimientos y afianzaron mi formación profesional.

De manera especial expreso mi agradecimiento al Ing. Nikolay Aguirre Mendoza Ph.D, director de la tesis, por su apoyo constante y orientación en el desarrollo de esta investigación.

A las Ingenieras Ivonne González y Wilma Molina, quienes contribuyeron sustancialmente en el inicio de esta investigación con su orientación, apoyo y sugerencias. De igual manera al Ingeniero Juan Maita, quien contribuyo de gran manera facilitándome la información necesaria para la elaboración de la presente investigación.

A los miembros del tribunal calificador: Ing. Pablo Álvarez, Ing. Freddy Tinoco, Ing. Diana Ochoa, por sus oportunas sugerencias que permitieron reforzar la presente tesis.

Y finalmente a toda mi familia y amigos por todo el apoyo emocional e incondicional durante mi vida universitaria.

El autor

DEDICATORIA

A mis padres, en especial a mi madre, Rosa, por ser el pilar fundamental en mi vida y darme siempre amor y apoyo incondicional en todo momento. Gracias a ti madre soy lo que soy, y sé que este logro alcanzado es tan especial para ti como lo es para mí.

A mis hermanas, Verónica, Génesis y Paola, por estar siempre presentes en los buenos y malos momentos.

A Karina por su amor y apoyo incondicional, por darme siempre ánimos y fuerza para salir adelante.

Finalmente a mis amigos y compañeros, que hicieron de mi vida universitaria una época inolvidable. Gracias por brindarme su amistad.

INDICE GENERAL

Contenido **Pág.**

1. INTRODUCCIÓN 1
2. REVISIÓN DE LITERATURA 3
2.1. CAMBIO CLIMÁTICO 3
2.1.1. Definición 3
2.1.2. Escenarios de Cambio Climático 3
2.1.3. Incidencia del Cambio Climático Sobre la Distribución de las Especies 6
2.2. EL ECOSISTEMA PÁRAMO 7
2.2.1. Definición e Importancia 7
2.2.2. El páramo del Parque Nacional Podocarpus 8
2.2.3. Vulnerabilidad de los Páramos Frente al Cambio Climático 8
2.3. ANFIBIOS 9
2.3.1. Descripción y Taxonomía 9
2.3.2. Importancia Ecológica de los Anfibios 10
2.3.3. Amenazas antrópicas y naturales a las poblaciones de anfibios 11
2.3.4. Anfibios del Páramo del Parque Nacional Podocarpus 12
2.4. SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA 12
2.4.1. Modelos de Distribución Actual y Potencial de Hábitats con Herramientas SIG 13
2.4.2. Software SIG para Modelación de Hábitats 14
3. MATERIALES Y MÉTODOS 16
3.1. ÁREA DE ESTUDIO 16
3.2. METODOLOGÍA PARA MODELAR LA DISTRIBUCIÓN POTENCIAL ACTUAL DE CUATRO ESPECIES DE ANFIBIOS EN EL PÁRAMO DEL PARQUE NACIONAL PODOCARPUS 18
3.3. METODOLOGÍA PARA EVALUAR LA DISTRIBUCIÓN POTENCIAL FUTURA DE CUATRO ESPECIES DE ANFIBIOS BAJO LOS ESCENARIOS RCP 6.0 Y RCP 8.5 PARA EL AÑO 2050… 21
4. RESULTADOS 23

4.1. SELECCIÓN DE LAS ESPECIES 23
4.2. MODELOS DE DISTRIBUCIÓN ACTUAL DE LAS ESPECIES 24
4.2.1. Distribución Actual de *Pristimantis myersi* 24
4.2.2. Distribución Actual de *Pristimantis colodactylus* 25
4.2.3. Distribución Actual de *Pristimantis orcesi* 26
4.2.4. Distribución Actual de *Pristimantis percultus* 27
4.3. MODELOS DE DISTRIBUCIÓN POTENCIAL ACTUAL DE LAS ESPECIES EN EL AÑO 2014 28
4.3.1. Relación de las Variables Bioclimáticas y la Topográfica con Cada Una De Las Especies 28
4.3.2. Distribución Potencial Actual de *Pristimantis myersi* 30
4.3.3. Distribución potencia Actual de *Pristimantis colodactylus* 31
4.3.4. Distribución Potencia Actual de *Pristimantis orcesi* 32
4.3.5. Distribución Potencia Actual de *Pristimantis percultus* 33
4.4. MODELOS DE DISTRIBUCIÓN POTENCIAL FUTURA DE LAS ESPECIES SELECCIONADAS PARA EL AÑO 2050 34
4.4.1. Modelos de Distribución Potencia Futura Para el Año 2050 Bajo el Escenario RCP 6.0 34
4.4.1.1 Modelo de distribución potencial futura de Pristimantis myersi 35
4.4.1.2 Modelo de distribución potencial futura de Pristimantis colodactylus 36
4.4.1.3 Modelo de distribución potencial futura de Pristimantis orcesi 37
4.4.1.4 Modelo de distribución potencial futura de Pristimantis percultus 38
4.4.2. Modelos de distribución potencia futura para el año 2050 bajo el escenario RCP 8.5 39
4.4.2.1 Modelo de distribución potencial futura de Pristimantis myersi 40
4.4.2.2 Modelo de distribución potencial futura de Pristimantis colodactylus 41
4.4.2.3 Modelo de distribución potencial futura de Pristimantis orcesi 42
4.4.2.4 Modelo de distribución potencial futura de Pristimantis percultus 43
5. DISCUCIÓN 45
5.1. ASPECTOS METODOLÓGICOS DEL MODELAMIENTO DE HÁBITAT DE LAS ESPECIES 45
5.2. DISTRIBUCIÓN POTENCIAL ACTUAL DE LAS ESPECIES 47

5.3. DISTRIBUCIÓN POTENCIAL FUTURA DE LAS ESPECIES 49
6. CONCLUSIONES 52
7. RECOMENDACIONES 53
8. BLIOGRAFÍA 54
9. ANEXOS 68

INDICE DE CUADROS

Contenido **Pág.**

Cuadro 1. Historia de los escenarios de emisiones 3

Cuadro 2. Especies utilizadas para realizar la modelación de la distribución potencial actual y futura, en el páramo del Parque Nacional Podocarpus 24

Cuadro 3. Aporte de las variables bioclimáticas y topográfica a los modelos generados por especie. 29

Cuadro 4. Porcentaje del área ocupada por cada especie, con respecto al páramo 29

Cuadro 5. Aporte de las variables bioclimáticas y topográfica a los modelos generados por especie. 34

Cuadro 6. Aporte de las variables bioclimáticas y topográfica a los modelos generados por especie. 39

Cuadro 7. Datos de distribución de las especies al año 2050, bajo los escenarios RCP 6.0 y RCP 8.5. 44

INDICE DE FIGURAS

Contenido **Pág.**

Figura 1. Ubicación del área de estudio dentro del Parque Nacional Podocarpus 17

Figura 2. Distribución actual de Pristimantis myersi 25

Figura 3. Distribución actual de Pristimantis colodactylus 26

Figura 4. Distribución actual de Pristimantis orcesi 27

Figura 5. Distribución actual de Pristimantis percultus 28

Figura 6. Porcentaje del área ocupada por cada especie, con respecto al páramo 29

Figura 7. Distribución potencial actual de *Pristimantis myersi*, a) modelo de distribución generado por MaxEnt b) distribución de la especie una vez vectorizadas las ausencias y presencias, c) tendencia de la curva ROC. 31

Figura 8. Distribución potencial actual de Pristimantis colodactylus, a) modelo de distribución generado por MaxEnt, b) distribución de la especie una vez vectorizadas las ausencias y presencias, c) tendencia de la curva ROC. 32

Figura 9. Distribución potencial actual de Pristimantis orcesi, a) modelo de distribución generado por MaxEnt, b) distribución de la especie una vez vectorizadas las ausencias y presencias, c) tendencia de la curva ROC. 33

Figura 10. Distribución potencial actual de Pristimantis percultus, a) modelo de distribución generado por MaxEnt, b) distribución de la especie una vez vectorizadas las ausencias y presencias, c) tendencia de la curva ROC. 34

Figura 11. Distribución potencial futura de Pristimantis myersi al 2050 bajo el escenario RCP 6.0, a) distribución potencial actual, b) distribución potencial futura, c) cambios en la distribución potencial futura. 36

Figura 12. Distribución potencial futura de Pristimantis colodactylus al 2050 bajo el escenario RCP 6.0, a) distribución potencial actual, b) distribución potencial futura, c) cambios en la distribución potencial futura. 37

Figura 13. Distribución potencial futura de Pristimantis orcesi al 2050 bajo el escenario RCP 6.0, a) distribución potencial actual, b) distribución potencial futura, c) cambios en la distribución potencial futura. 38

Figura 14. Distribución potencial futura de Pristimantis percultus al 2050 bajo el escenario RCP 6.0, a) distribución potencial actual, b) distribución potencial futura, c) cambios en la distribución potencial futura. 39

Figura 15. Distribución potencial futura de Pristimantis myersi al 2050 bajo el escenario RCP 8.5, a) distribución potencial actual, b) distribución potencial futura, c) cambios en la distribución potencial futura. 41

Figura 16. Distribución potencial futura de Pristimantis colodactylus al 2050 bajo el escenario RCP 8.5, a) distribución potencial actual, b) distribución potencial futura, c) cambios en la distribución potencial futura..... 42

Figura 17. Distribución potencial futura de Pristimantis orcesi al 2050 bajo el escenario RCP 8.5, a) distribución potencial actual, b) distribución potencial futura, c) cambios en la distribución potencial futura. 43

Figura 18. Distribución potencial futura de Pristimantis percultus al 2050 bajo el escenario RCP 8.5, a) distribución potencial actual, b) distribución potencial futura, c) cambios en la distribución potencial futura. 44

ABREVIATURAS

AUC	Área bajo la curva ROC
BIO	Variable bioclimática
BIOCLIM	Software para el modelamiento de hábitat de las especies
ENFA	Software para el modelamiento de hábitat de las especies
EPA	Agencia de Protección Ambiental
GAM	Modelo Aditivo Generalizado
GARP	Software para el modelamiento de hábitat de las especies
GLM	Modelo Lineal Generalizado
IPCC	Panel Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático
MAE	Ministerio del ambiente del Ecuador
MAXENT	Software para el modelamiento de hábitat de las especies
MDE	Modelo Digital de Elevación
MICCAMBIO	Proyecto de investigación Monitoreo a largo plazo del impacto del cambio climático en la biodiversidad de ecosistemas de páramo en el Parque Nacional Podocarpus
PNP	Parque Nacional Podocarpus
QCAZ	Museo de Zoología de la Pontificia Universidad Católica del Ecuador
RCP	Sendas Representativas de Concentración
ROC	Característica Operativa del Receptor
SRES	Informe Especial sobre Emisiones y Escenarios
WORLDCLIM	Programa Mundial de Estudios Sobre el Clima

ESTUDIO DE LA DISTRIBUCIÓN DE ANFIBIOS EN EL PÁRAMO DEL PARQUE NACIONAL PODOCARPUS, FRENTE A POSIBLES ESCENARIOS DE CAMBIO CLIMÁTICO

RESUMEN

Esta investigación trata de la modelación de la distribución del hábitat de cuatro especies de ranas: *Pristimantis myersi*, *Pristimantis colodactylus*, *Pristimantis orcesi* y *Pristimantis percultus*; todas ellas presentes en el páramo del Parque Nacional Podocarpus, específicamente en el sector de Cajanuma.

La modelación se realizó a partir de un registro de presencias de las especies, variables climáticas como temperatura media anual y precipitación media anual (Bio1 y Bio12) y una variable topográfica que corresponde a la altitud (MDE). Mediante un software que emplea un algoritmo de entropía (MaxEnt), se obtuvo la distribución potencial actual, y la distribución potencial futura, que se modelo bajo los escenarios RCP 6.0 y RCP 8.5 para el año 2050. Posteriormente con el software ArcGis se vectorizó las presencias, y se procedió a generar los mapas finales.

La información necesaria para generar los modelos se obtuvo de las siguientes fuentes: los registros de presencia de las especies se obtuvieron de la base de datos generada por Salinas y Veintimilla (2010), las variables climáticas se obtuvieron de la base de datos del WorldClim y fueron de 1 km^2 de resolución, y la variable topográfica se obtuvo de la base de datos del proyecto MICCAMBIO.

Los resultados mostraron que para el año 2050 todas las especies van a perder algo de su área de distribución actual, teniendo que bajo el escenario RCP 8.5 se perderá más área que bajo el escenario RCP 6.0, sin embargo la diferencia no es muy marcada, a excepción de *Pristimantis percultus* que bajo el escenario RCP 6.0 pierde el 19.4 % de área actual y bajo el escenario RCP 8.5 pierde el 30.7 %.

Palabras claves: MaxEnt, modelos de distribución, cambio climático, anfibios.

ABSTRACT

This research is modeling the distribution of habitat for four species of frogs: *Pristimantis myersi, Pristimantis colodactylus, Pristimantis orcesi and Pristimantis percultus;* all present in the Moorland of the Podocarpus National Park, specifically in the area of Cajanuma.

The modeling was performed from a record of presences of species, climate variables as mean annual temperature and mean annual precipitation (Bio1 and Bio12) and a topographic variable corresponding to the altitude (MDE). Using software that employs an algorithm of entropy (MaxEnt), the current potential distribution was obtained, and potential future distribution model under which the RCP 6.0 and RCP 8.5 scenarios for the year 2050. Afterwards with the software ArcGis vectorization of the location was conducted, and proceeded to generate the final maps.

The information required to generate the models was obtained from the following sources: registers the presence of the species were obtained from the database generated by Salinas and Veintimilla (2010), climatic variables were obtained from the database WorldClim and were 1 km2 resolution, and topographic variable was obtained from the MICCAMBIO database project.

The results showed that for the year 2050 all species will lose some of its actual area of distribution, given that under the RCP 8.5 scenario that more area will be lost under the RCP 6.0 scenario, however the difference is not very marked, except *Pristimantis percultus* that under the RCP 6.0 scenario loses 19.4% of actual area and under the RCP 8.5 scenario lost 30.7%.

Keywords: MaxEnt, distribution models, climate change, amphibians.

1. INTRODUCCIÓN

El Panel Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC) ha pronosticado que, como resultado de los cambios en los patrones de precipitación y temperatura global, en el transcurso de este siglo, (IPCC, 2007; Santín y Vidal, 2012) la resiliencia de muchos ecosistemas probablemente se verá superada por una combinación sin precedentes de cambios en el clima y en otros motores de cambio global tales como, cambio de uso de la tierra y sobreexplotación, si las emisiones de gases de efecto invernadero y otros cambios continúan con el ritmo que actualmente llevan (Mateo *et al.*, 2011).

Puesto que el clima es uno de los factores más decisivos en la distribución de las especies, los indicios de la existencia de cambio climático global, llevan a pensar que las especies puedan comenzar a mostrar cambios en sus áreas de distribución en un futuro no muy lejano (Olano y Peralta, 2001), esto debido a que la distribución espacial de las especies no es aleatoria, sino que obedece al intervalo o capacidad de tolerancia que cada especie tiene a factores ambientales como altitud, posición topográfica, temperatura, humedad y precipitación que Chapman (1976) definió como amplitud ecológica (Leal *et al.*, 2012; Gutiérrez y Trejo, 2014; López, 2014).

En las últimas décadas ya se han observado cambios en la distribución de especies y su tipo de hábitats (Naoki *et al.*, 2006) por lo que cada vez hay más evidencias provenientes de todo el mundo de que las especies y ecosistemas se están transformando debido al cambio climático.

Los ecosistemas de alta montaña han sido considerados como uno de los ecosistemas más vulnerables frente a fluctuaciones en las condiciones climáticas. (Salinas y Veintimilla, 2010). Los Andes Ecuatorianos en especial han enfrentado en los últimos años una drástica pérdida en su diversidad de anfibios debido a anormalidades climáticas especialmente en los 80s y 90s debido a una inusual combinación de altas temperaturas, días secos y bajas precipitaciones (Webster, 2010). Particularmente en los páramos del Parque Nacional Podocarpus existe evidencia de que la población de anfibios está disminuyendo, pues, según Coloma

et al. (2014) la especie *Atelopus Podocarpus* se cree extinta, debido a que su último registro fue el 1 de diciembre de 1994 (Lagunas de Compadre, Parque Nacional Podocarpus).

En este contexto, se ha despertado un enorme interés en el análisis de la relación entre las especies y su hábitat, extendiéndose los estudios de selección de hábitats (Olano y Peralta, 2001; Seoane y Bustamante, 2001; García, 2008); y con el desarrollo de potentes técnicas estadísticas y los sistemas de información geográfica, ha progresado rápidamente una nueva herramienta: los modelos de distribución de especies (Leal *et al.*, 2012; Rodríguez, 2011; Toranza, 2011).

Actualmente, existen varios algoritmos matemáticos que pueden ser utilizados para la generación de mapas de distribución potencial de especies. Se puede utilizar métodos basados en registros de presencia-ausencia, como GLM, GAM, y Garp, o algoritmos basados únicamente en presencias como Bioclim, Domain, ENFA, y MaxEnt (Rodríguez, 2011).Sin embargo, estudios recientes enfocados en la comparación de distintos métodos de modelación indican que MaxEnt es uno de los métodos más robustos (Toranza, 2011; Elith *et al*., 2006; Hernández *et al*., 2006). Esta investigación está orientada a través del cumplimiento de los siguientes objetivos:

Objetivo general:

- Contribuir al conocimiento de los posibles efectos del cambio climático en la distribución actual de los anfibios, en el Parque Nacional Podocarpus

Objetivos específicos:

- Modelar la distribución actual de cuatro especies de anfibios en el páramo del Parque Nacional Podocarpus

- Evaluar la distribución potencial de cuatro especies de anfibios en el páramo del Parque Nacional Podocarpus frente a diferentes escenarios climáticos

2. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. CAMBIO CLIMÁTICO

2.1.1. Definición

Según el Panel Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC, 2001) el cambio climático es una importante variación estadística en el estado medio del clima o en su variabilidad, que persiste durante un período. El cambio climático se puede deber a procesos naturales internos o a cambios del forzamiento externo, o bien a cambios persistentes antropogénicos en la composición de la atmósfera o en el uso de las tierras. Por su parte la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMCC, 1992), lo define como un cambio de clima atribuido directa o indirectamente a la actividad humana que altera la composición de la atmósfera mundial y que se suma a la variabilidad natural del clima observada durante períodos de tiempo comparables.

2.1.2. Escenarios de Cambio Climático

Según menciona el quinto informe de evaluación del IPCC (2013) con el paso del tiempo, se han utilizado una variedad de enfoques de escenarios en la investigación del clima, desde representaciones estimando los incrementos porcentuales anuales en las concentraciones medias mundiales de gases de efecto invernadero a representaciones avanzadas de las emisiones de muchos gases y partículas que afectan el clima y supuestos incrementos socioeconómicos y desarrollo tecnológico. En la tabla 1 se presenta la historia de los escenarios y a continuación se detallaran los más actuales.

Cuadro 1. Historia de los escenarios de emisiones

Año	Nombre	Creación
1990	SA90	Primer informe de evaluación del IPCC
1992	IS92	Segundo informe de evaluación del IPCC
2000	SRES (Informe Especial sobre Emisiones y Escenarios)	Tercer y cuarto informe de evaluación del IPCC
2009	RCP (Sendas representativas de concentración)	Quinto informe de evaluación del IPCC

En el quinto informe de evaluación del IPCC se han definido cuatro nuevos escenarios de emisión, las denominadas Sendas Representativas de Concentración (RCP, de sus siglas en inglés). Éstas se identifican por su forzamiento radioactivo total para el año 2100 que varía desde 2.6 a 8.5 W/m^2. Los escenarios de emisión utilizados en el cuarto informe (denominados SRES, de sus siglas en inglés) no contemplaban los efectos de las posibles políticas o acuerdos internacionales tendentes a mitigar las emisiones, representando posibles evoluciones socio-económicas sin restricciones en las emisiones. Por el contrario, algunos de los nuevos RCP pueden contemplar los efectos de las políticas orientadas a limitar el cambio climático del siglo XXI.

Los actuales escenarios de emisiones propuestos en el quinto informe de evaluación del IPCC (2013) son:

RCP 8.5 (Altas emisiones)

Este escenario es consistente con un futuro sin cambios en las políticas para reducir las emisiones. Fue desarrollado por el Instituto Internacional para el Análisis de Sistemas Aplicados en Austria y se caracteriza por el aumento de las emisiones de gases de efecto invernadero que conducen a las altas concentraciones de gases de efecto invernadero a través del tiempo.

Este futuro es consistente con:

- Incremento de tres veces las emisiones de CO_2 en el año 2100
- Rápido incremento en las emisiones de metano
- Aumento del uso de las tierras de cultivo y pastizales que es impulsado por un aumento de la población
- Una población mundial de 12 mil millones para el año 2100
- Baja tasa de desarrollo de la tecnología
- La fuerte dependencia de los combustibles fósiles
- Gran intensidad energética
- No aplicación de políticas climáticas

RCP 6.0 (Emisiones intermedias)

Este escenario es desarrollado por el Instituto Nacional de Estudios Ambientales en Japón. El forzamiento radiactivo se estabiliza poco después del año 2100, lo cual es coherente con la aplicación de una serie de tecnologías y estrategias para la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero.

Este futuro es consistente con:

- Una fuerte dependencia a los combustibles fósiles
- Intermedia intensidad energética
- El aumento del uso de las tierras de cultivo y la disminución del uso de los pastizales
- Las emisiones de metano estables
- El máximo de las emisiones de CO_2 en el año 2060 a 75 % por encima de los niveles actuales, y luego se reduce a 25 %

RCP 4.5 (Emisiones intermedias)

Este RCP es desarrollado por el Laboratorio Nacional del Pacífico Noroeste en los EE.UU. Aquí el forzamiento radioactivo se estabiliza poco después de del año 2100, en armonía con un futuro con reducción de emisiones relativamente ambiciosas.

Este futuro es consistente con:

- Menor intensidad energética
- Fuertes programas de reforestación
- La disminución de uso de las tierras de cultivo y pastizales debido a los aumentos de producción y cambios en la dieta
- Políticas climáticas rigurosas
- Las emisiones de metano estables
- Las emisiones de CO_2 aumentan sólo un poco, y la disminución comienza alrededor del año 2040

RCP 2.6 (Bajas emisiones)

Este escenario es desarrollado por la Agencia de Evaluación Ambiental de Holanda PBL. Aquí el forzamiento radiactivo alcanza 3.1 W/m^2 antes de que vuelva a 2.6 W/m^2 para el año 2100. Para alcanzar esos niveles de forzamiento, sería necesaria la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero ambicioso con el tiempo.

Este futuro es consistente con:

- La disminución del uso de aceite
- Baja intensidad energética
- Una población mundial de 9 000 millones para el año 2100
- La utilización de las tierras de cultivo aumenta debido a la producción de bioenergía
- Más ganadería intensiva
- Las emisiones de metano se reducen en un 40 %
- las emisiones de CO^2 se quedan en el nivel actual hasta el año 2020, luego disminuyen y llegan a ser negativas en el año 2100
- Las máximas concentraciones de CO_2 son alrededor del año 2050, seguido de un ligero descenso de alrededor de 400 ppm en el año 2100

2.1.3. Incidencia del Cambio Climático Sobre la Distribución de las Especies

La vulnerabilidad de una especie ante el cambio climático dependerá fundamentalmente de dos factores: su capacidad para mantener poblaciones en su área de distribución actual a pesar del cambio en las condiciones ambientales (persistencia), y el potencial para colonizar zonas actualmente deshabitadas pero que serán climáticamente favorables en el futuro (Arribas *et al.*, 2012).

Un incremento de apenas 1 °C puede causar cambios significativos en la composición y distribución de ciertas poblaciones y, de acuerdo con el IPCC y la Agencia de Protección Ambiental (EPA), se espera un reemplazamiento de los árboles que asociamos a bosques maduros por árboles y arbustos de rápido crecimiento asociados con áreas perturbadas. Según la EPA, las especies tendrían

que migrar algo más de 3 km al año para adaptarse al cambio climático, lo cual no parece viable para árboles cuyas semillas sean dispersadas por el viento o árboles con frutos pesados, resultando en una reconfiguración hacia bosques menos diversos (Lorente *et al.*, 2004).

Otros estudios muestran que los márgenes de distribución de algunas especies de aves y mariposas también se han desplazado más al Norte y a mayor altitud, por ejemplo, 18.9 km en promedio para aves británicas y 2º en latitud para la mariposa *Euphydryas edita* (Peñuelas *et al.*, 2010). Las respuestas individuales de las especies al cambio climático pueden desorganizar sus interacciones con otras del mismo o adyacente nivel trófico y es posible que cambios rápidos en el clima o eventos extremos puedan alterar la composición y estructura de las comunidades (Hole *et al.*, 2012).

2.2. EL ECOSISTEMA PÁRAMO

2.2.1. Definición e Importancia

Díaz *et al.* (2005), menciona que el páramo es un ecosistema alto andino que se extiende al norte de la cadena montañosa denominada "Los Andes" caracterizado por tener una vegetación dominante como el pajonal, su límite inferior no se encuentra definido, pero el superior se extiende hasta las nieves perpetuas, es un ecosistema porque en él se desarrolla un sinnúmero de relaciones entre seres vivos y un medio ambiente con características especiales como: temperatura, humedad, radiación solar, presión atmosférica, otros. Por su parte, Aguirre y Chamba (2010) mencionan que el páramo es un ecosistema natural entre el límite del bosque cerrado y la nieve perpetua en los trópicos húmedos.

En el territorio ecuatoriano los páramos ocupan una extensión aproximada de 1 260 000 ha, que corresponde al 5 % de la extensión territorial. Catorce de las 35 áreas protegidas del Sistema Nacional de Áreas Protegidas contienen éste ecosistema, además de una serie de áreas como bosques protectores y reservas privadas (Fundación Páramo, 2007; Díaz *et al.*, 2005). Los páramos son reconocidos por sus importantes funciones ecológicas y por los servicios ambientales como la continua provisión de agua en cantidad y calidad, y el

almacenamiento de carbono atmosférico, que ayuda a controlar el calentamiento global. Además su posición como corredor biológico para diversas especies de flora y fauna, lo convierten en un ecosistema vital para la región andina (Mecanismos de Información de Paramos, 2010; Mena y Hofstede, 2000).

2.2.2. El páramo del Parque Nacional Podocarpus

El Parque Nacional Podocarpus (PNP), se encuentra ubicado entre las provincias de Loja y Zamora Chinchipe, en la República del Ecuador; entre los 900 a 3 600 msnm, lo que ha dado origen, entre otras razones, a una variedad única de especies de flora y fauna, ecosistemas frágiles y únicos como lo son los bosques nublados y los páramos del sur del Ecuador (Cisneros *et al.*, 2004), se localiza en la región de Numbala y el nudo de Sabanilla. El PNP comprende un área de 144 993 ha, caracterizadas por presentar una topografía predominante por valles y laderas escarpadas, con un relieve muy irregular formado por montañas y colinas (Salinas y Veintimilla, 2010).

En el PNP se encuentran representados los ecosistemas de bosque nublado y páramos, entre los cuales se forman interesantes zonas de transición con formaciones vegetales achaparradas únicas que son determinadas por especiales condiciones climáticas, edáficas y ecológicas. En los bosques montanos del PNP, se han registrado 70 especies de árboles y en sus páramos 135 especies de plantas vasculares; cuarenta especies de flora son endémicas. En cuanto a fauna, se han registrado 212 especies de aves, un número muy alto si consideramos la pequeña extensión del bosque (Grupo de Trabajo en Páramos del Ecuador, 2004).

2.2.3. Vulnerabilidad de los Páramos Frente al Cambio Climático

Los páramos son considerados uno de los ecosistemas más vulnerables e intrínsecamente muy frágiles ante cambios climáticos, dada su consabida disposición espacial en las cumbres de alta montaña (Eguiguren *et al.*, 2010; Young *et al*., 2012) por tanto, los impactos previstos tienen poco margen de error, serán fatales e irreversibles (Ramírez y Rodríguez, 2011).

A medida que las condiciones climáticas que requieren los páramos ascienden altitudinalmente, las áreas de vegetación de páramo probablemente desaparecerán debido a la invasión de plantas leñosas procedentes de áreas de menos altitud y al incremento de actividad agrícola. Además pueden verse sustancialmente alterados o degradados con el incremento de los regímenes de incendios que pueden acompañar a las temperaturas más cálidas y al aumento de las presiones por el uso humano del suelo (Young *et al*., 2012).

Estévez (2006) sostiene que el calentamiento global puede producir migraciones altitudinales de las franjas paramunas. El superpáramo ocupará el espacio dejado por las nieves perpetuas y el páramo colonizará el espacio dejado por el superpáramo en su parte baja, mientras presumiblemente el bosque alto andino invadirá la parte inferior del páramo o zona de ecotonía, ampliando su límite superior y probablemente perdiendo espacio en su límite inferior.

2.3. ANFIBIOS

2.3.1. Descripción y Taxonomía

Los anfibios son vertebrados ectotérmicos, aquellos cuya temperatura corporal depende de la ambiental, lo cual los hace mucho más sensibles a las variaciones ambientales que los vertebrados endotérmicos, especialmente los anfibios que habitan la interface tierra-aire y que, por lo tanto, son doblemente receptores de los cambios ambientales (Toranza, 2011), pertenecen a la clase Amphibia, son animales de sangre fría que poseen la piel típicamente desnuda, y ésta les sirve tanto de órgano respiratorio como secretor. El desarrollo embrionario también es distintivo en esta clase de vertebrados. Algunas especies dentro de los anfibios poseen un desarrollo larvario, es decir que luego de eclosionar y pasar por larvas en ecosistemas acuáticos donde respiran por medio de branquias, sufren una metamorfosis para madurar sexualmente, ocupando ambientes terrestres y arborícolas, modificando su aparato respiratorio para poseer pulmones e intercambiar gases por su piel. Otras especies experimentan desarrollo directo, es decir, carecen de un estado larvario (Salinas y Veintimilla, 2010).

Los anfibios se clasifican taxonómicamente en: anuros (sapos y ranas), urodelos (salamandra y ranas) y apodos (cecilias y viboritas ciegas).

Se llaman anuros aquellos vertebrados anfibios tetrápodos y sin cola, la cual desaparece por metamorfosis durante el paso de renacuajo a anfibio adulto; se llaman urodelos, ya que son anfibios provistos de 4 patas y poseen cola, son más acuáticos que terrestres, poseen branquias externas para la respiración dentro del agua; se llaman apodos porque son anfibios sin patas similares a pequeñas serpientes de las que se diferencian por la ausencia de escamas (Daneri y Muzio, 2013).

2.3.2. Importancia Ecológica de los Anfibios

Los anfibios presentan gran importancia ecológica, pues son un componente conspicuo de las cadenas tróficas en los ecosistemas, aportando estos significativos recursos alimenticios a peces, aves, reptiles, mamíferos e incluso arácnidos (Calderón, 2009), además de ser considerados buenos controladores de invertebrados y constituir excelentes indicadores de calidad ambiental debido a su alta sensibilidad a cambios en su medio (Tejedo *et al.*, 2013).

Su desaparición podría provocar: cambios en los ciclos de transferencia de nutrientes, y aumento de incidencia de enfermedades como malaria, fiebre amarilla y dengue hemorrágico, por el incremento de poblaciones de zancudos e insectos transmisores. También, se incrementa el riesgo de plagas para cultivos y la pérdida de oportunidades para la cura de muchas enfermedades, las cuales están siendo tratadas con medicinas producidas con base en alcaloides, toxinas y demás exudados proveniente de la piel de estos animales (Calderón, 2009).

Según Calderón (2009), la permeabilidad de su membrana epidérmica los hace susceptibles a la mayoría de los cambios en el medio; un aumento en la temperatura, en la insolación o en la concentración de sustancias externas en el medio se puede ver reflejado en los patrones de abundancia de una especie o en la salud de sus individuos. Debido a esta sensibilidad, los anfibios son considerados como especies indicadoras del estado del entorno en que viven. (Día y Ortiz, 2003).

2.3.3. Amenazas antrópicas y naturales a las poblaciones de anfibios

A nivel mundial, los anfibios están desapareciendo por causas muy diversas, algunas poco conocidas, como los efectos del cambio climático (Tejedo *et al*., 2013).

Bosch (2003) menciona que ya en los años 70, algunas especies de anfibios descritas recientemente habían desaparecido de sus hábitats sin razones aparentes. Por su parte, Tejedo *et al.* (2013) afirma que en la actualidad existe una preocupación global por el declive de los anfibios, ya que si no se hace nada, esto puede representar una degradación irreversible de nuestro medio natural de carácter planetario, además de una importantísima pérdida de biodiversidad.

Parece muy claro que el descenso en la biodiversidad de los anfibios se puede achacar tanto a causas generadas a nivel local como la alteración y destrucción de los hábitats acuáticos reproductivos y medios terrestres colindantes, debido a construcción de carreteras, urbanizaciones, polígonos industriales, contaminación de las aguas por liberación de sustancias nocivas, etc., como a causas de ámbito global. (Valencia *et al.*, 2008). Entre las causas globales estarían las precipitaciones ácidas, que afectan sobre todo al Hemisferio Norte, que acidificarían las aguas de las charcas y arroyos, el cambio climático y el incremento de las radiaciones UV como consecuencia de la disminución de la capa de ozono, la disminución de las precipitaciones en zonas tropicales, además de la irrupción de enfermedades emergentes como iridovirus y hongos quitridios (Echegaray y Hernando, 2008)

La extinción de muchas especies de anfibios es de especial importancia en los páramos andinos. Los cambios climáticos a nivel global, la degradación y contaminación de los hábitats naturales parecen estar debilitando las defensas de muchas especies de ranas, que están siendo atacadas por un hongo parásito que se aloja en su piel y termina causándoles la muerte por intoxicación y asfixia. En unas pocas décadas esto ha llevado a la casi completa desaparición de varias especies del género *Atelopus* en los páramos y bosques andinos (Navas, 1999).

2.3.4. Anfibios del Páramo del Parque Nacional Podocarpus

Según el estudio realizado por Salinas y Veintimilla (2010) en el páramo del Parque Nacional Podocarpus, la anuro fauna registrada muestra únicamente la presencia de la familia Strabomantidae, siendo *Pristimantis orcesi* y *Pristimantis myersi* las especies más dominantes con el 43 %, mientras que las especies restantes *Pristimantis percultus*, *Pristimantis colodactylus* representan el 6 % cada una y *Prhynopus sp.*, representa tan solo el 2 % del total de la anurofauna registrada.

Se debe destacar que de las cinco especies registradas, cuatro de ellas (*Pristimantis colodactylus*, *Pristimantis myersi*, *Pristimantis orcesi* y *Prhynopus sp.*) posiblemente se traten de nuevas especies para la ciencia, además se registra por primera vez para el PNP la presencia de *Pristimantis percultus*.

2.4. SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA

A lo largo de estas tres últimas décadas y con el avance de las nuevas tecnologías se han publicado infinidad de definiciones acerca de los SIG; la mayoría de las cuales destacan las múltiples posibilidades de análisis que ofrecen estos sistemas de información y los diversos campos de aplicación de los mismos (Bartolín, 2013).

Para Sandoval *et al.* (2002) la funcionalidad básica de un SIG se centra en la descripción de un territorio de tal manera que se mejore su conocimiento y que se permita la descripción y el análisis de los fenómenos naturales o humanos que en él se producen.

Un SIG se puede definir como una “base de datos computarizada que contiene información espacial” o también como “una tecnología informática para gestionar y analizar información espacial” (Arancibia, 2008). Otra definición más amplia sería: “Un conjunto de herramientas para reunir, introducir, almacenar, recuperar, transformar y cartografiar datos espaciales sobre el mundo real” (Pliscoff y Fuentes, 2011).

2.4.1. Modelos de Distribución Actual y Potencial de Hábitats con Herramientas SIG

La pérdida del hábitat, el cambio de la cubierta de tierra y la sobre explotación son unas de las principales causas de la extinción a gran escala de la biodiversidad (Seoane, 2005). Ante la magnitud e importancia del problema, es claro que los esfuerzos se deben encaminar en la implementación de estrategias para la protección de la biodiversidad, sustentadas en evidencias científicas (Koleff y Soberón, 2008). Por eso se vuelve necesario, como paso preliminar ineludible, recopilar, compendiar y cartografiar la información biológica actualmente dispersa en la literatura y las colecciones (Morales, 2012).

Bartolín (2013), menciona que las herramientas SIG son de utilidad, pues permite determinar o predecir cómo variaría la distribución de una especie o un grupo de especies frente a cambios ambientales de temperatura, humedad, entre otros.

Así, en la actualidad han nacido nuevas técnicas estadísticas asociadas a los SIG, que permiten analizar objetivamente los patrones espaciales de presencia de organismos: los modelos de distribución de especies (Mateo *et al.*, 2011). Típicamente, estos métodos utilizan las condiciones ambientales, puesto que la distribución de las especies está, en una cierta parte determinada por el ambiente. Así, según la distribución de estos factores ambientales (clima, suelo, relieve) en el espacio se puede decir, si la especie está presente o no, para construir un modelo que permite localizar otras áreas potencialmente convenientes para la especie de estudio (Hurtado, 2007).

Estos modelos se basan en procedimientos estadísticos y cartográficos que partiendo de datos reales de presencia permiten inferir zonas potencialmente idóneas en función de sus características ambientales. Los modelos han evolucionado desde su aplicación a especies aisladas hasta análisis de cientos o miles de taxones para combinarlos en el análisis de la biodiversidad y riqueza específica. (Mateo *et al*., 2011).

2.4.2. Software SIG para Modelación de Hábitats

En varios estudios se ha constatado que los diferentes softwares presentan distinta precisión a la hora de estimar la distribución del hábitat idóneo para una especie. En general los resultados no son concluyentes, funcionando de modo diferente los algoritmos según la especie, la cantidad de registros de presencia, o el número de variables predictoras (Benito y Peñas, 2007), por tanto, a continuación se presentan las características de varios softwares utilizados en la modelación de especies:

Bioclim (Naoki *et al.*, 2006): Este algoritmo, implementado en el programa de gestión de recursos florísticos DIVA-GIS, genera para la especie un rango ecológico de n dimensiones, siendo n el número de variables predictoras, mediante un análisis de la distribución de los registros de presencia sobre cada variable ambiental. El hiper-rectángulo resultante está caracterizado por una tolerancia mínima y máxima que determinan los límites de idoneidad. El modelo de hábitat se genera otorgando a cada celda un valor de distancia ecológica relativo a la posición que ocupa dentro del rango multidimensional de la especie. Este algoritmo no admite para el análisis capas de información cualitativa como usos del suelo y similares.

GARP (Genetic Algorithm for Rule-set Prediction) (Vega *et al.*, 2008): El programa DesktopGarp contiene las herramientas necesarias para generar modelos de distribución utilizando este algoritmo. Es un sistema heurístico basado en inteligencia artificial que busca correlaciones no aleatorias entre los puntos de presencia del organismo y las variables ambientales. Funciona iterativamente, aplicando distintas reglas de modelado (atomic, logistic regresión, range rules y negated range), generando y evaluando en cada bucle de cálculo un modelo de distribución binario (1 = presencia, 0 = ausencia) distinto. Los modelos binarios resultantes son seleccionados y sumados algebraicamente, proporcionando un mapa final de idoneidad del hábitat con un rango de valores continuos. Los resultados no son determinísticos, por lo que un mismo conjunto de datos origina mapas de idoneidad distintos.

MaxEnt (Benito y Peñas, 2007; Terribile *et al,* 2010): Es un método de inteligencia artificial que aplica el principio de máxima entropía para calcular la distribución geográfica más probable para una especie. MaxEnt estima la probabilidad de ocurrencia de la especie buscando la distribución de máxima entropía (lo más uniforme posible) sujeta a la condición de que el valor esperado de cada variable ambiental según esta distribución coincide con su media empírica. El resultado del modelo expresa el valor de idoneidad del hábitat para la especie como una función de las variables ambientales. Un valor alto de la función de distribución en una celda determinada indica que ésta presenta condiciones muy favorables para la presencia de la especie. MaxEnt puede utilizar variables cualitativas, otorgando a cada valor de la variable un peso relativo al número total de puntos de presencia que contiene. El programa proporciona las curvas de respuesta de la especie ante las distintas variables ambientales y estima la importancia de cada variable en la distribución de la especie.

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. ÁREA DE ESTUDIO

El área de estudio corresponde al ecosistema páramo del Parque Nacional Podocarpus (Figura 1), mismo que se encuentra localizado en el límite fronterizo de las provincias de Loja y Zamora Chinchipe, en la región sur del Ecuador. Según Acuerdo ministerial N° 398, el Parque Nacional Podocarpus, comprende un área de 144 993 ha, entre un rango altitudinal que va desde los 900 a 3 600 msnm, (MAE, 2010).

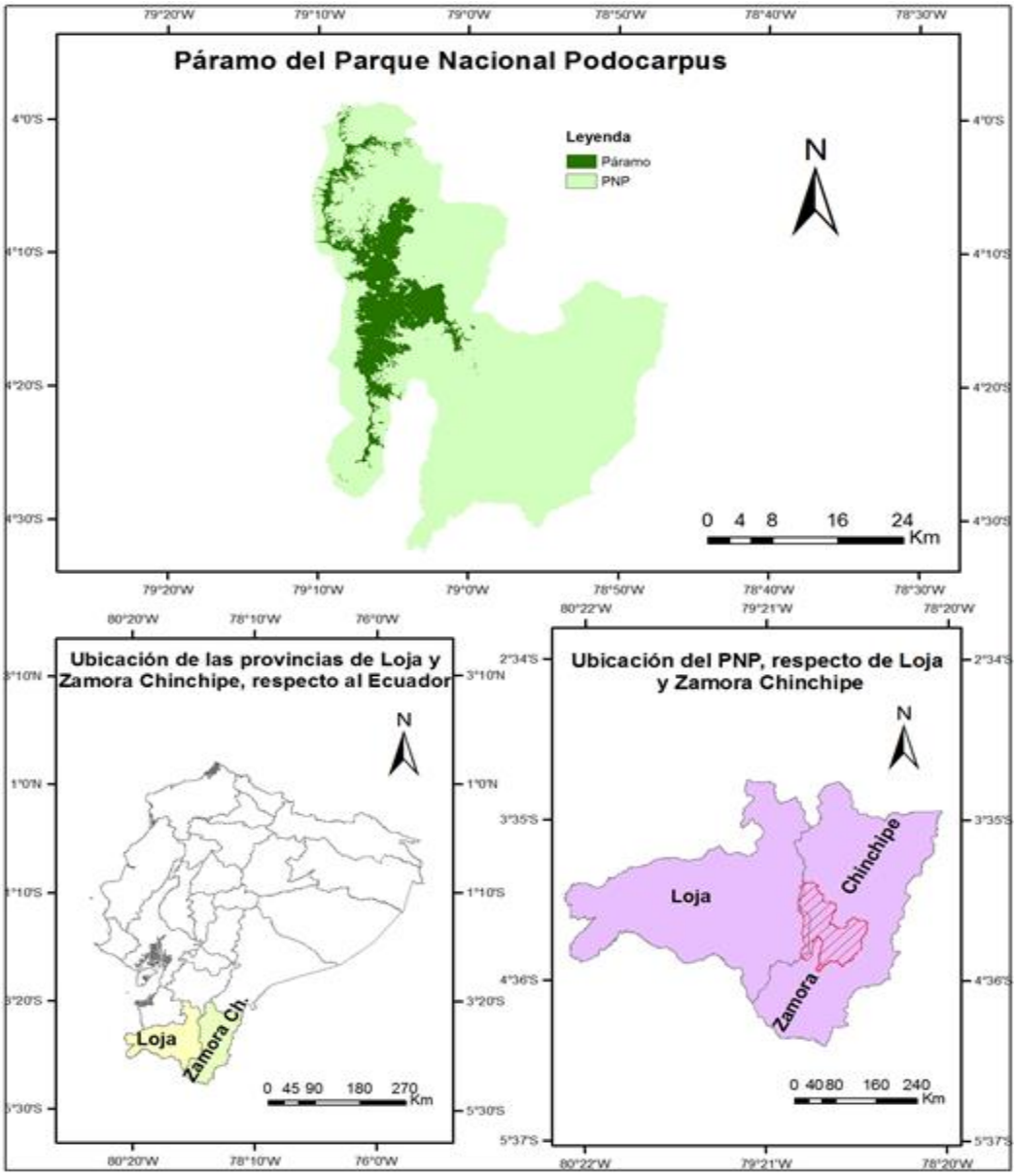


Figura 1. Ubicación del área de estudio dentro del Parque Nacional Podocarpus

El clima en el páramo del PNP, está caracterizado por un viento intenso desde el este y por una neblina persistente. La temperatura oscila diariamente entre 10 °C como máxima y la mínima es entre 0 °C a 3 °C. La precipitación anual fluctúa entre 2 000 a 4 000 mm, registrándose valores que han llegado a 6 000 mm incluyendo la precipitación horizontal en el sector de Cajanuma (Molina, 2014). Se trata de ecosistemas singulares, con una alta diversidad y endemismo a nivel del país por ubicarse en la formación de Huancabamba y en contacto con la zona Tumbesina, entre las cuencas Amazónica y del Pacífico, lo cual origina una zona de transición de los páramos de norte de los Andes hacia la Puna más al sur en el Perú (Aguirre y Chamba, 2010).

El ecosistema páramo en el PNP comprende un área de 15 000 ha, este tipo de ecosistema en la región sur del Ecuador empieza a partir de los 2 800 msnm (Salinas y Veintimilla, 2010; Eguiguren *et al.*, 2010).

La vegetación del ecosistema páramo del PNP presenta marcadas diferencias con el páramo del norte del país, ya que se desarrolla a menor altitud y solamente en las crestas de montaña. Es importante mencionar que el páramo del PNP presenta un buen estado de conservación, debido a que se encuentra dentro de un área protegida, en donde se garantiza su protección y conservación (Salinas y Veintimilla, 2010).

El ecosistema de páramo se encuentra compuesto, principalmente, por especies vegetales como bromelias (*Tillandsia aequatorialis*), puyas (*Puya manculata*, *Puya nitida*), arbustos (*Disterigma alaternoides*, *Themistoclesia epiphytica*, *Chusquea neurophylla*) y hierbas (*Neurolepis asymmetrica*, *Oxalis spiralis*) (Eguiguren *et al.* 2010).

En cuanto a especies animales, específicamente anfibios, Salinas y Veintimilla (2010) han inventariado especies como *Prhynopus sp*., *Pristimantis colodactylus*, *Pristimantis myersi*, *Pristimantis orcesi* y *Pristimantis percultus*, mismas que son las más representativas de estos páramos, y por tanto, consideradas indicadores biológicos.

3.2. METODOLOGÍA PARA MODELAR LA DISTRIBUCIÓN POTENCIAL ACTUAL DE CUATRO ESPECIES DE ANFIBIOS EN EL PÁRAMO DEL PARQUE NACIONAL PODOCARPUS

Para poder realizar la modelación se utilizaron las especies inventariadas por Salinas y Veintimilla (2010), presentes en los páramos del Parque Nacional Podocarpus, en un estudio que pretendía identificar especies indicadoras de cambio climático. En el mencionado estudio se registraron un total de 108 individuos pertenecientes a cinco especies, dos géneros y una familia del orden Anura. Para identificar las potenciales especies indicadoras de cambio climático los autores aplicaron 6 criterios.

Los criterios usados fueron los siguientes:

- Presentar poca estacionalidad
- Historia natural bien conocida
- Abundantes y de fácil observación y manipulación
- Taxonomía bien conocida
- Especies con amplia distribución y presente en diferentes hábitats
- Taxones especializados y sensibles a cambios de hábitat

Para la presente investigación se utilizaron 4 de las 5 especies inventariadas por Salinas y Veintimilla (2010), puesto que solo cuatro de ellas cumplían con los criterios establecidos para considerarlas indicadoras de cambio climático, además de que una de ellas no cumplía con la cantidad mínima de presencias para realizar una modelación, que según (Briones *et al.*, 2012), para realizar una modelación se necesitan como mínimo 6 registros de presencia para cada una de las especie.

Los registros de presencias no son la única información requerida para realizar la modelación, a continuación se detallan las fuentes de donde se recolecto toda la información necesaria para la presente investigación:

- Base de datos de registros de presencias de las especies inventariadas por Salinas y Veintimilla (2010)

- Base de datos del WorldClim, de donde se obtuvieron las variables bioclimáticas (Bio 1 y Bio 12)
- Base de datos del Proyecto MICCAMBIO, de donde se obtuvo la variable topográfica (MDE)

De las 18 variables del WorldClim, se seleccionaron las que más influyan y estén asociadas a los anfibios y su distribución, que según Báez *et al.* (2011), Urbina y Londoño (2003), Corrales (2010) y Toranza (2011), coinciden que entre las principales están: la temperatura media anual (Bio1) y la precipitación anual (Bio12).

Las variables bioclimáticas tomadas de la plataforma WorldClim, se encontraron proyectadas en un sistema de coordenadas geográficas con su datum WGS84. La temperatura esta expresada en grados centígrados multiplicados por 10, y la precipitación en milímetros. Los datos de este modelo han sido generados por interpolación desde estaciones meteorológicas en una imagen de 30 arc-sec (1 km^2 resolución). El erros final estimado en dicha interpolación ha sido de menos de 10 mm en la precipitación anual y menor a 0.3 °C en la temperatura más alta del planeta (WorldClim, 2014).

Por su parte la variable topográfica, se encontraba proyectada en un sistema de coordenadas UTM con su datum WGS84 y a una resolución de 50 m^2.

Posteriormente para determinar la distribución potencial actual de las especies, se utilizaron dos herramientas informáticas (MaxEnt 3.3.3k y ArcGis 9.3), la primera para realizar la modelación propiamente dicha, y la segunda para el manejo y edición de las variables bioclimáticas y la topográfica, así como para la elaboración final de los mapas de distribución.

El procedimiento seguido se lo detalla a continuación:

- Una vez obtenidos los registros de presencias en coordenadas UTM, se procedió a transformarlas a coordenadas decimales y guardarlas en un archivo de formato .csv, pues el software MaxEnt admite únicamente este tipo formato.

- A la variable topográfica se la proyecto a coordenadas geográficas y se la dejó con una resolución de 1 km^2 de resolución, esto con la finalidad de que este igual a las bioclimáticas y no presente ningún error a la hora de generar el modelo.

- A las variables bioclimáticas y la topográfica que estaban en formato raster, se las recortó al área de estudio y por medio de ArcGis se las convirtió a formato .asc, hay que tener en cuenta que los registros de presencias y las variables ambientales y la topográfica estén proyectadas en el mismo sistema de coordenadas.

- Posteriormente se introducen las variables ambientales y la topográfica a MaxEnt para generar los mapas de predicción en términos de probabilidad de presencia de las especies (salida logística), en formato .asc, y para evaluar por medio del Jackknife la importancia o aporte de las variables al modelo resultante.

- La evaluación de la calidad del modelo se hizo a través de la curva ROC, que es la presentación gráfica de la Sensibilidad (1-Especificidad) para un sistema calificador binario según se varía el umbral de discriminación. Se calculó, además el área bajo la curva (estadístico AUC), que es una medida pura de a eficacia o capacidad predictiva general del sistema.

- El resultado final que presenta MaxEnt es un mapa binario en formato .asc representado en colores que van del 0 a 1, este mapa fue convertido nuevamente a raster y posteriormente fue vectorizado con la ayuda de ArcGis, para posteriormente presentar los mapas finales de la distribución de las especies.

3.3. METODOLOGÍA PARA MODELAR LA DISTRIBUCIÓN POTENCIAL FUTURA DE CUATRO ESPECIES DE ANFIBIOS BAJO LOS ESCENARIOS RCP 6.0 Y RCP 8.5 PARA EL AÑO 2050

La metodología utilizada para la obtención de los mapas de la distribución potencial futura es similar a la utilizada para obtener la distribución potencial actual.

Sin embargo, aquí se trabajó en base a predicciones climáticas para el futuro o también llamados escenarios de cambio climáticos y estos son: el escenario RCP 6.0 y el escenario RCP 8.5. Cada uno de estos escenarios cuenta con varios Modelos de Clima Global, y para evitar sesgos se procedió a descargar todos los modelos presentes en ambos escenarios, dando un total de 11 modelos para cada escenario. Posteriormente con la ayuda de ArcGis, específicamente con la herramienta "raster calculator" que sirve para realizar, entre otras cosas, operaciones matemáticas con capas raster, se promedió las variables de cada uno de los modelos para cada escenarios. En pocas palabras se sumó las variables de los modelos de cada escenario y se dividió para 11, dando como resultado una sola capa raster, que es el promedio de todos los modelos. Finalmente se procedió a modelar la distribución potencial futura de las especies.

En la figura 2, se esquematiza el procedimiento que se realizó parar la modelación de la distribución de las especies.

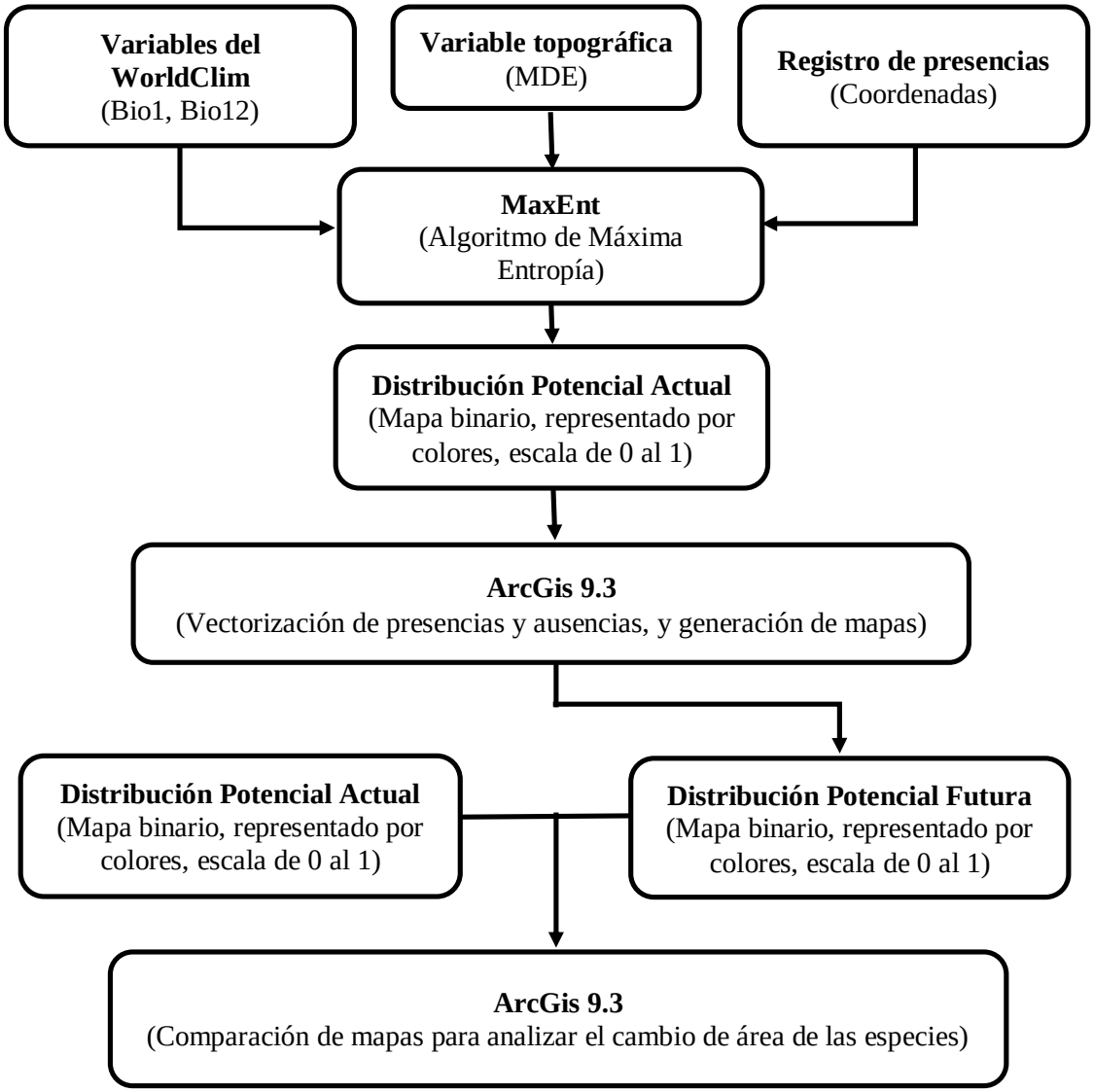


Figura 2 . Esquema del procedimiento seguido para la modelación de la distribución de especies

4. RESULTADOS

Los resultados de la presente investigación se presentan sobre la base de los objetivos planteados, y se resumen en el siguiente orden de presentación: a) selección de las 4 especies de anfibios indicadoras de cambio climático presentes en el páramo del Parque Nacional Podocarpus, b) distribución actual de las especies seleccionadas, c) distribución potencial actual de las especies, d) distribución potencial futura de las especies al año 2050.

4.1. SELECCIÓN DE LAS ESPECIES

Tomando como base las 5 especies registradas en el páramo del Parque Nacional Podocarpus por Salinas y Veintimilla (2010), y en base a los 6 criterios que utilizaron los autores para determinar especies indicadoras de cambio climático, se utilizaron aquellas especies (cuadro 2) que cumplieron por lo menos con 2 de los 6 criterios usados, además de que cuenten con el número mínimo de presencias para realizar la modelación.

Cuadro 2. Especies utilizadas para realizar la modelación de la distribución potencial actual y futura, en el páramo del Parque Nacional Podocarpus.

Especies	**Criterios**							
	Presentar poca estacionalidad	Historia natural bien conocida	Abundantes y de fácil observación y manipulación	Taxonomía bien conocida	Especie con amplia distribución y presente en diferentes hábitats	Taxones especializados y sensibles a cambios de hábitats	Total	Porcentaje (%)
Pristimantis myersi	0	2	0	0	5	6	13	62
Pristimantis colodactylus	0	2	0	0	0	6	8	38
Pristimantis orcesi	0	2	3	0	5	6	16	76
Pristimantis percultus	0	2	0	4	0	6	12	57

4.2. MODELOS DE DISTRIBUCIÓN ACTUAL DE LAS ESPECIES

Las especies presentadas a continuación tienen su distribución actual en el páramo del Parque Nacional Podocarpus, específicamente en el sector de Cajanuma, puesto que en este sector se registraron sus presencias.

4.2.1. Distribución Actual de *Pristimantis myersi*

Como se observa en la figura 3, la especie presenta una limitada distribución que se centra en el sector de Cajanuma, en donde se registraron 46 presencias, de las cuales para el modelamiento de su hábitat se eligieron 18.

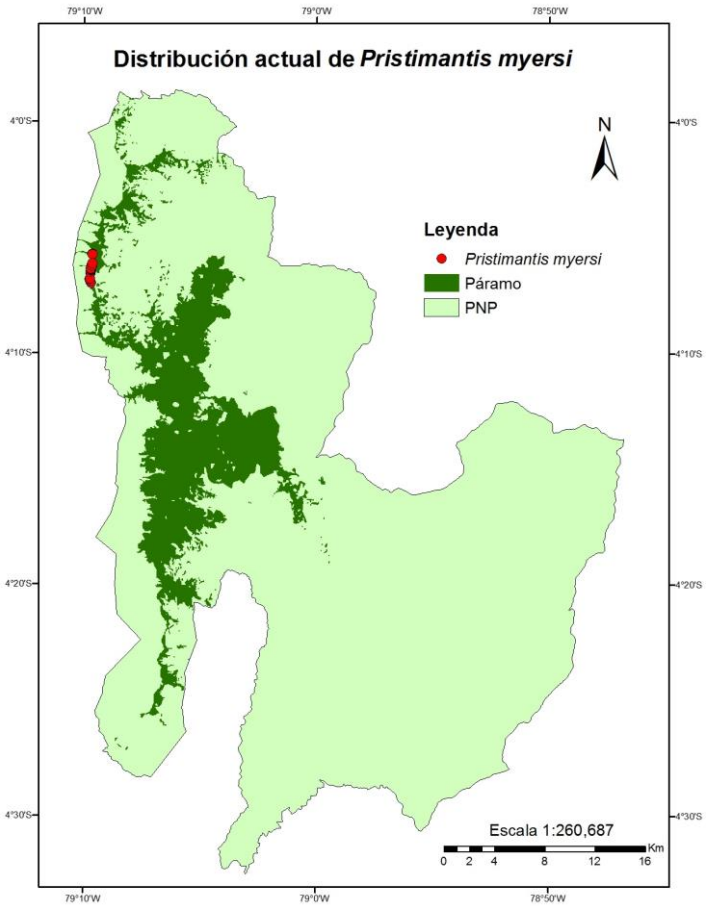


Figura 3. Distribución actual de *Pristimantis myersi*

La distribución de *Pristimantis myersi* se se desarrolla uniformemente entre cada hondonada del área de estudio, y está condicionada por factores como altitud, temperatura y precipitación, todos los registros fueron identificados sobre los 3 200

m de altitud, a una temperatura de entre 10.5 °C a 10.9 °C y una precipitación promedio de 973.5 mm.

4.2.2. Distribución Actual de *Pristimantis colodactylus*

Como puede observarse en la figura 4, la distribución actual de *Pristimantis colodactylus* está concentrada en el sector de Cajanuma, en el cual se registraron 6 presencias, mismas que fueron ocupadas para el modelamiento de su hábitat.

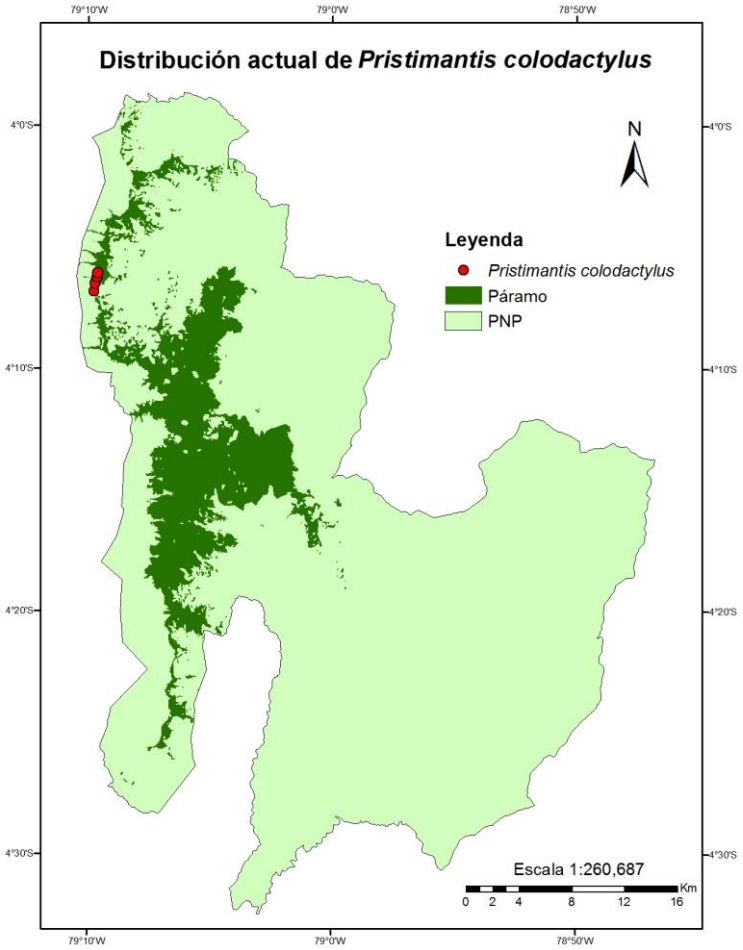


Figura 4. Distribución actual de *Pristimantis colodactylus*

Esta especie se distribuye uniformemente a lo largo de las hondonadas del área de estudio, y se encuentra condicionada por factores como altitud, temperatura y precipitación, todos los registros fueron identificados sobre los 3 200 m de altitud, a una temperatura de entre 10.5 °C a 10.9 °C y una precipitación promedio de 973.5 mm.

4.2.3. Distribución Actual de *Pristimantis orcesi*

En la figura 5, puede verse que la distribución de *Pristimantis orcesi* está limitada al sector de Cajanuma, en donde se registraron 47 presencias de las cuales 20 fueron utilizadas para realizar el modelamiento.

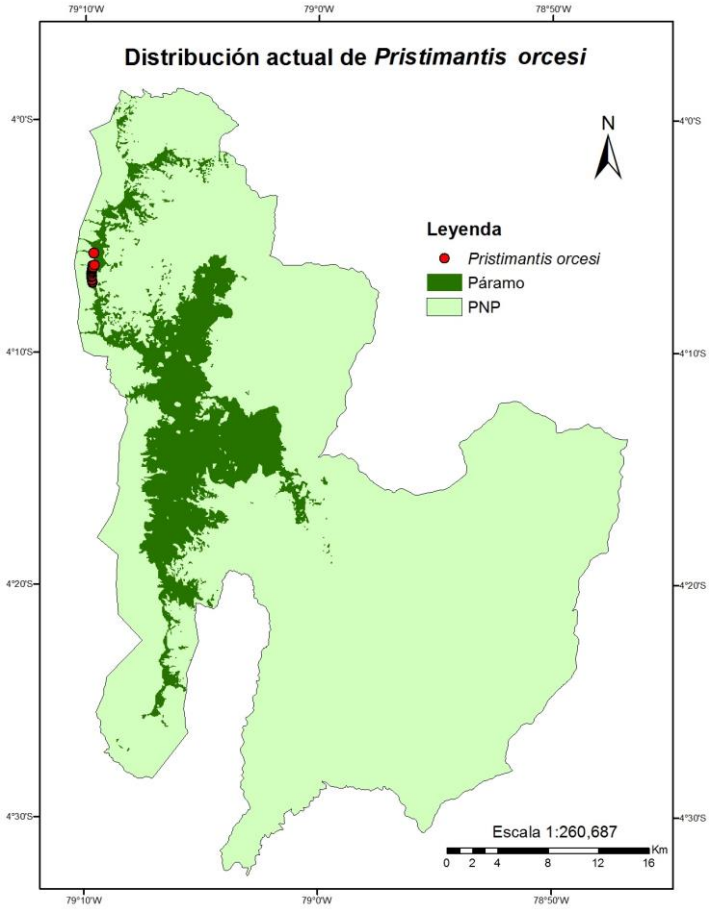


Figura 5. Distribución actual de *Pristimantis orcesi*

La distribución de *Pristimantis orcesi* se da a lo largo de las hondonadas del área de estudio, y se encuentra condicionada por factores como altitud, temperatura y precipitación, todos los registros fueron identificados sobre los 3 100 m de altitud, a una temperatura de entre 10.5 °C a 11.3 °C y una precipitación que va desde los 973 mm a los 982 mm.

4.2.4. Distribución Actual de *Pristimantis percultus*

En la figura 6, se observa que *Pristimantis percultus* presenta una limitada distribución que se concentra en el sector de Cajanuma, en donde se registraron 7 presencias que fueron utilizadas para el modelamiento de su hábitat.

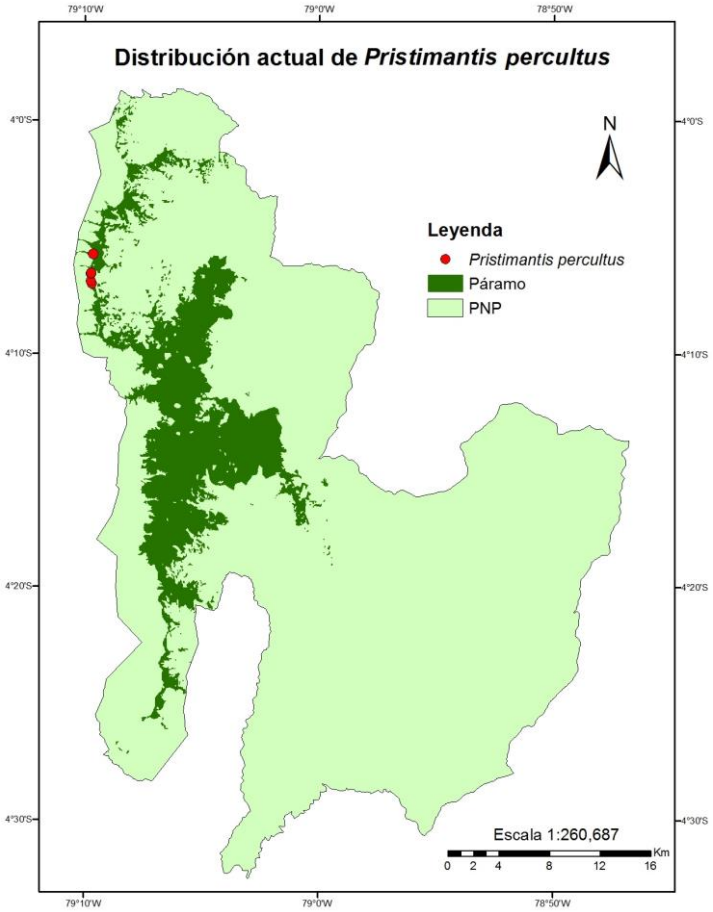


Figura 6. Distribución actual de *Pristimantis percultus*

La distribución de *Pristimantis percultus* se desarrolla uniformemente entre cada hondonada del área de estudio, y se encuentra condicionada por factores como altitud, temperatura y precipitación, todos los registros fueron identificados sobre los 3 100 m de altitud, a una temperatura de entre 10.5 °C a 11.3 °C y una precipitación que va desde los 973 mm a los 982 mm.

4.3. MODELOS DE DISTRIBUCIÓN POTENCIAL ACTUAL DE LAS ESPECIES EN EL AÑO 2014

A continuación se presentan los modelos de distribución actual de las especias en el año 2014, generados con el software MaxEnt y vectorizados con ArcGis.

4.3.1. Relación de las Variables Bioclimáticas y la Topográfica con Cada Una De Las Especies

El software MaxEnt además de modelar la distribución potencial actual y futura de las especies, genera datos (cuadro 3) de como las variables utilizadas para correr el modelo se relacionan con cada una de las especies, estos datos se los visualiza como porcentaje de aporte de la variable al modelo. Las variables utilizadas fueron temperatura media anual (Bio 1), precipitación anual (Bio 12) y altitud (MDE).

Cuadro 3. Aporte de las variables bioclimáticas y topográfica a los modelos generados por especie.

Especie	Variable	Bio1	Bio12	MDE
Pristimantis myersi	% contr.	0.3	97.1	2.6
	Import.	0.1	98.8	1.1
Pristimantis colodactylus	% contr.	0.0	97.6	2.4
	Import.	0.0	97.1	2.9
Pristimantis orcesi	% contr.	0.8	98.4	0.8
	Import.	1.2	98.8	0.0
Pristimantis percultus	% contr.	0.1	99.1	0.8
	Import.	0.0	100	0.0

Además del porcentaje de contribución de las variables al modelo, se obtuvo el porcentaje del área potencial ocupada por cada especie (cuadro 4 y figura 7) con respecto al área total del páramo.

Cuadro 4. Porcentaje del área ocupada por cada especie, con respecto al páramo

Distribución potencial actual	**Área (%)**
Páramo	100
Pristimantis myersi	5.14
Pristimantis colodactylus	5.02
Pristimantis orcesi	12.80
Pristimantis percultus	17.01

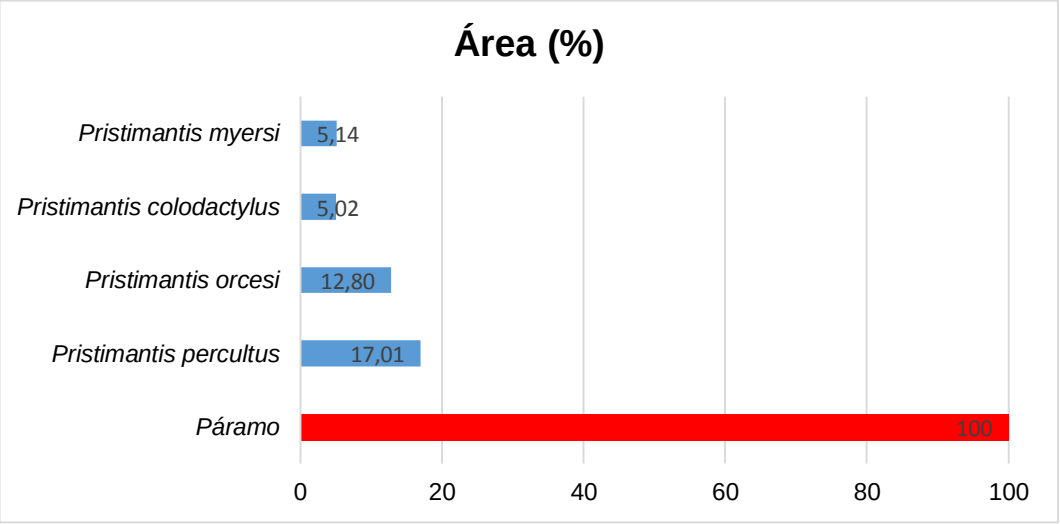


Figura 7. Porcentaje del área ocupada por cada especie, con respecto al páramo

4.3.2. Distribución Potencial Actual de *Pristimantis myersi*

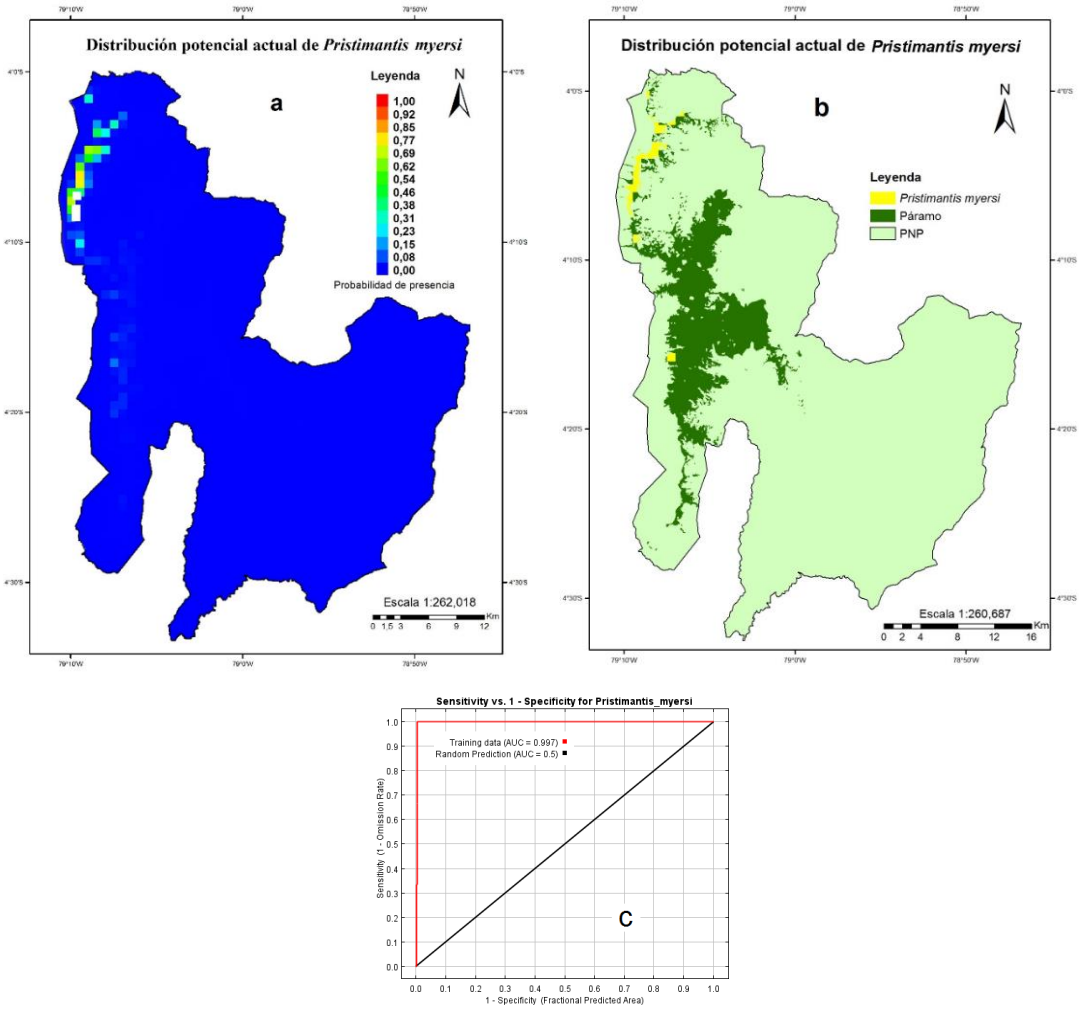


Figura 8. Distribución potencial actual de *Pristimantis myersi*, a) modelo de distribución generado por MaxEnt b) distribución de la especie una vez vectorizadas las ausencias y presencias, c) tendencia de la curva ROC.

En la figura 8, una vez vectorizadas las ausencias y presencias de la especie, se pude decir que el área potencial actual de Pristimantis myersi es del 5,1 % de área total del páramo, lo cual nos indica que únicamente el 5.1 % del área del páramo presenta condiciones climáticas idóneas para esta especie. Por otro lado, la tendencia de la curva ROC (0.997), indica que el modelo es sensible a posibles cambios que puedan ocurrir en las variables.

4.3.3. Distribución potencia Actual de *Pristimantis colodactylus*

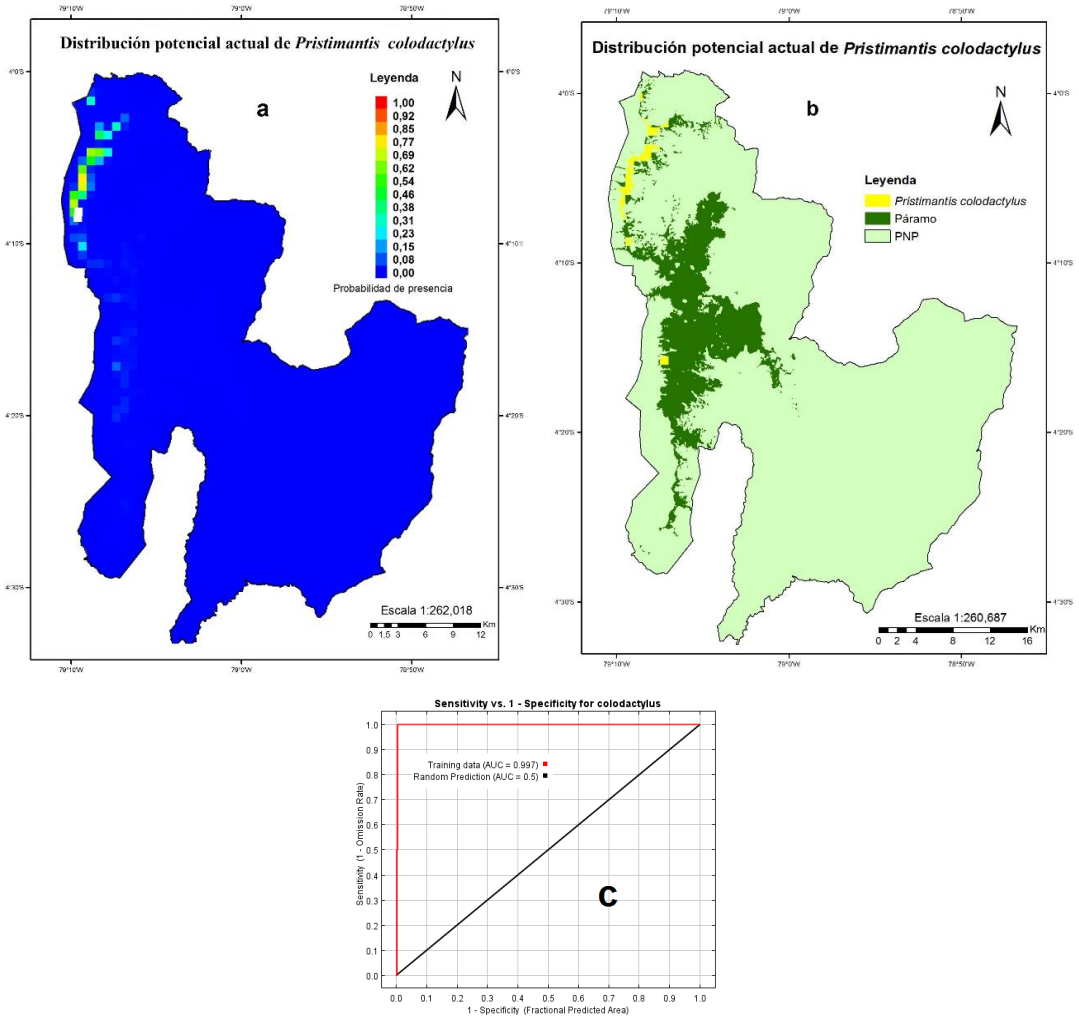


Figura 9. Distribución potencial actual de *Pristimantis colodactylus*, a) modelo de distribución generado por MaxEnt, b) distribución de la especie una vez vectorizadas las ausencias y presencias, c) tendencia de la curva ROC.

Según el modelo generado por MaxEnt y después de vectorizar las presencias y ausencias de esta especie (figura 9) más del 5 % del área del páramo presenta las condiciones óptimas para que la especie pueda desarrollarse, pues su distribución potencial actual es del 5 % del área del páramo. Así mismo la tendencia de la curva ROC (0.997) indica que el modelo es sensible a posibles cambios que puedan ocurrir en las variables.

4.3.4. Distribución Potencia Actual de *Pristimantis orcesi*

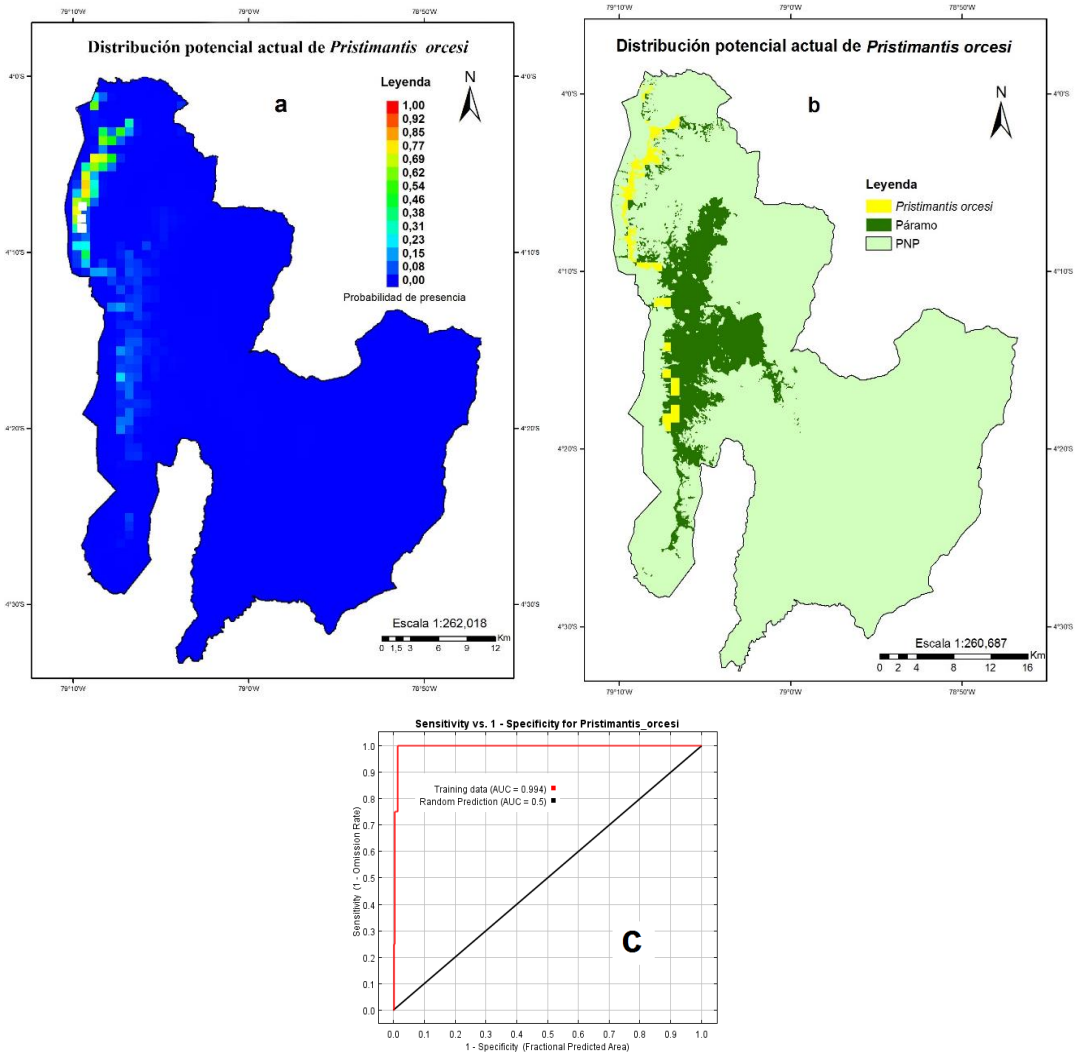


Figura 10. Distribución potencial actual de *Pristimantis orcesi*, a) modelo de distribución generado por MaxEnt, b) distribución de la especie una vez vectorizadas las ausencias y presencias, c) tendencia de la curva ROC.

En la figura 10 se puede observar que después de vectorizar las presencias y ausencia de *Pristimantis orcesi* su distribución potencial actual es del 12,8 % del área total del páramo, por lo que se infiere que más del 12 % del páramo presenta las condiciones requeridas por la especie, para su desarrollo. Así mismo la tendencia de la curva ROC (0.994) indica que el modelo es sensible a posibles cambios que puedan ocurrir en las variables.

4.3.5. Distribución Potencia Actual de *Pristimantis percultus*

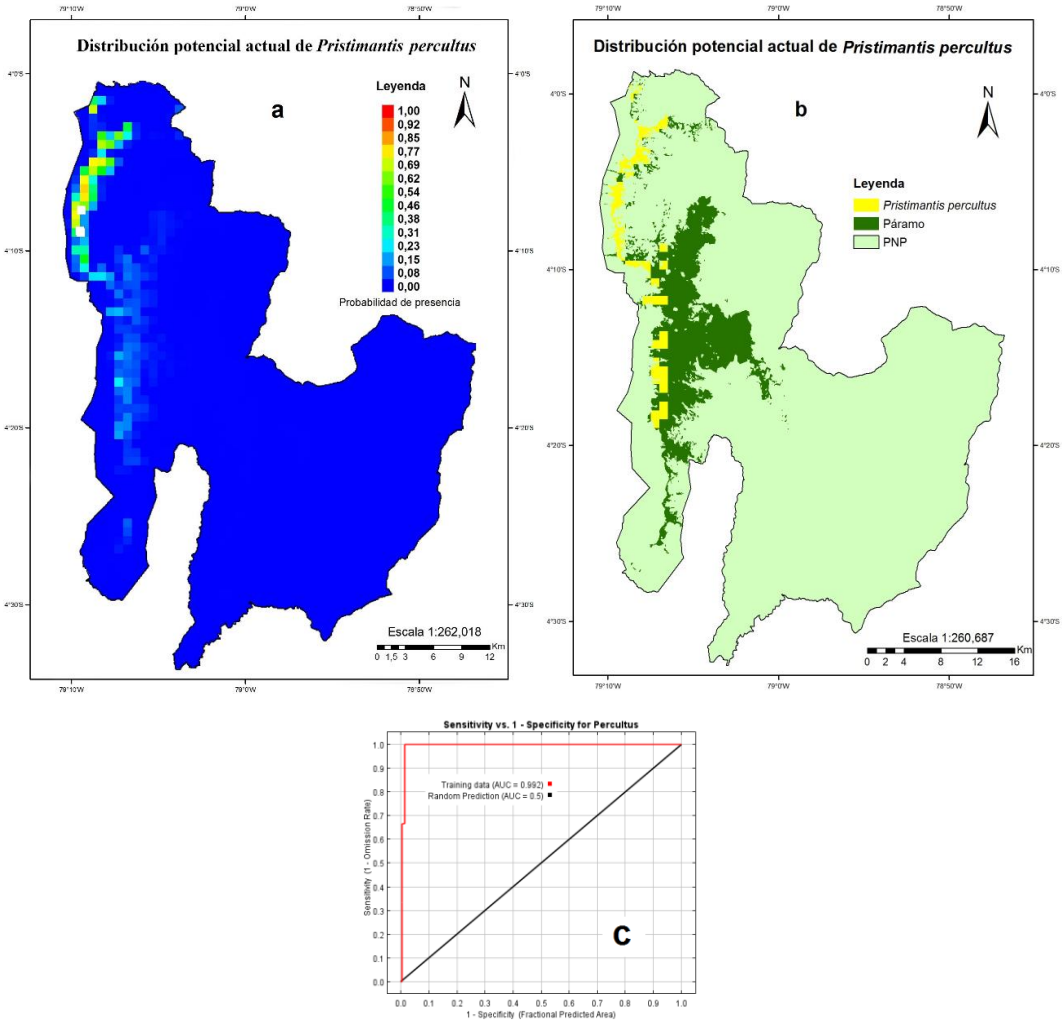


Figura 11. Distribución potencial actual de *Pristimantis percultus*, a) modelo de distribución generado por MaxEnt, b) distribución de la especie una vez vectorizadas las ausencias y presencias, c) tendencia de la curva ROC.

Como puede observarse en la figura 11, el área de distribución potencial actual de la especie *Pristimantis percultus* es del 17 % del páramo, lo que indica que el 17 % del páramo presenta las condiciones climáticas requeridas por la especie. Así mismo la tendencia de la curva ROC (0.994) indica que el modelo es sensible a posibles cambios que puedan ocurrir en las variables.

4.4. MODELOS DE DISTRIBUCIÓN POTENCIAL FUTURA DE LAS ESPECIES SELECCIONADAS PARA EL AÑO 2050

A continuación se presentan los modelos de distribución potencial futura para el año 2050, bajo los escenarios de cambio climático RCP 6.0 y RCP 8.5.

4.4.1. Modelos de Distribución Potencia Futura Para el Año 2050 Bajo el Escenario RCP 6.0

En el cuadro 5 se detallan los aportes de cada una de las variables, tanto bioclimáticas como topográfica, hacia el modelo.

Cuadro 5. Aporte de las variables bioclimáticas y topográfica a los modelos generados por especie.

Especie	Variable	Bio1	Bio12	MDE
Pristimantis myersi	% contr.	0.3	97.0	2.7
	Import.	0.1	98.8	1.1
Pristimantis colodactylus	% contr.	0.0	97.6	2.4
	Import.	0.0	97.0	3.0
Pristimantis orcesi	% contr.	0.1	99.1	0.8
	Import.	1.0	99.0	0.0
Pristimantis percultus	% contr.	0.7	99.1	0.2
	Import.	0.0	100	0.0

A continuación se presentan los modelos de distribución potencial futura para cada una de las especies, así como un análisis acerca de su área de distribución en el año 2050 bajo el escenario RCP 6.0.

4.4.1.1 Modelo de distribución potencial futura de *Pristimantis myersi*

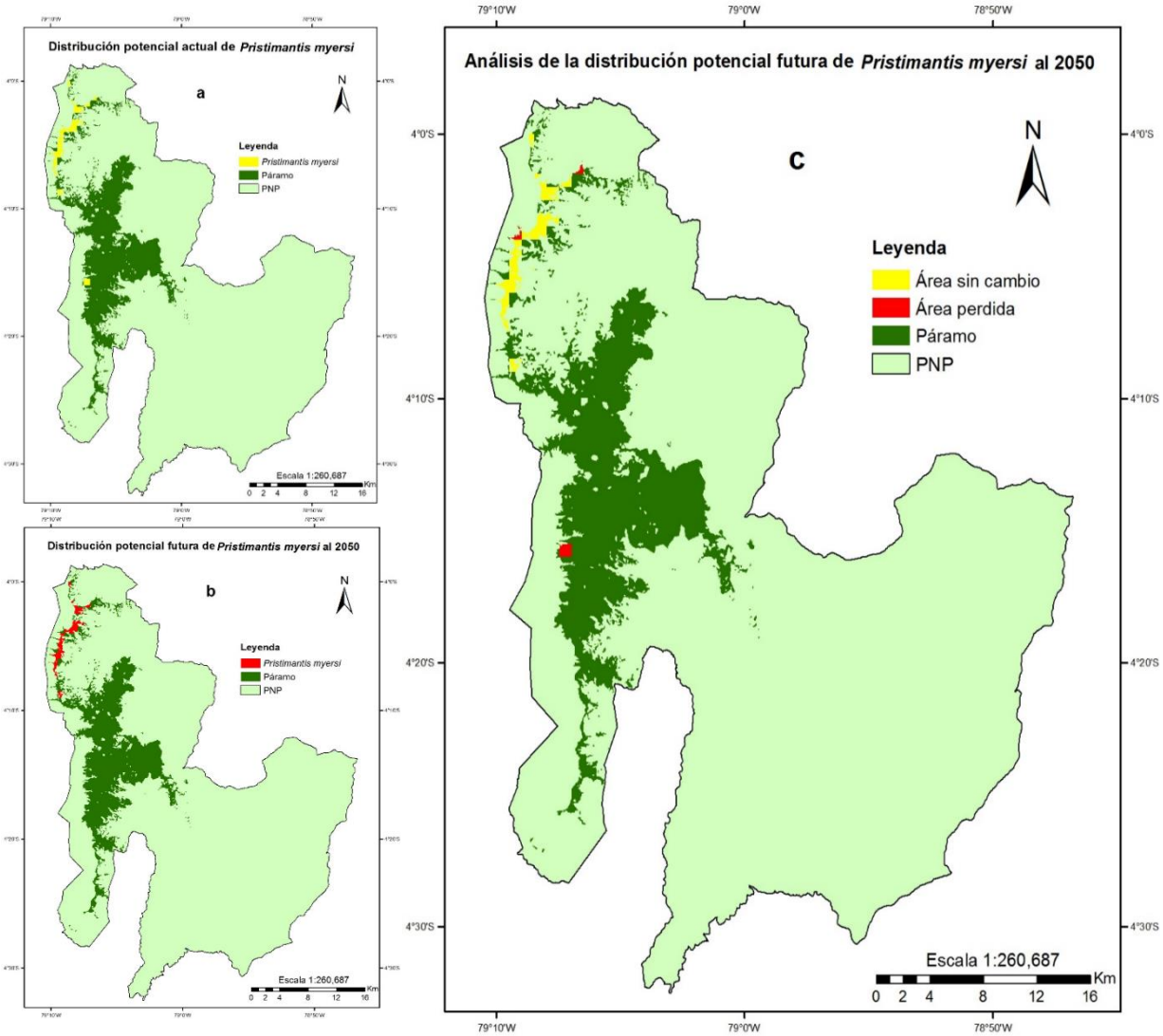


Figura 12. Distribución potencial futura de *Pristimantis myersi* al 2050 bajo el escenario RCP 6.0, a) distribución potencial actual, b) distribución potencial futura, c) cambios en la distribución potencial futura.

En la figura 12, puede observarse que la especie *Pristimantis myersi* para el año 2050 mantendrá el 85.9 % de su área intacta; el 14.1 % de su área se perderá, y no se colonizarán nuevas áreas. Por tanto, se infiere que la especie únicamente perderá área limitándose así si rango de distribución. Estos cambios en su distribución se dan debido a que las áreas que prestan las condiciones climáticas requeridas por la especie, cada vez son menos, esto se traduce en un incremento de la temperatura y precipitación en un futuro.

4.4.1.2 Modelo de distribución potencial futura de *Pristimantis colodactylus*

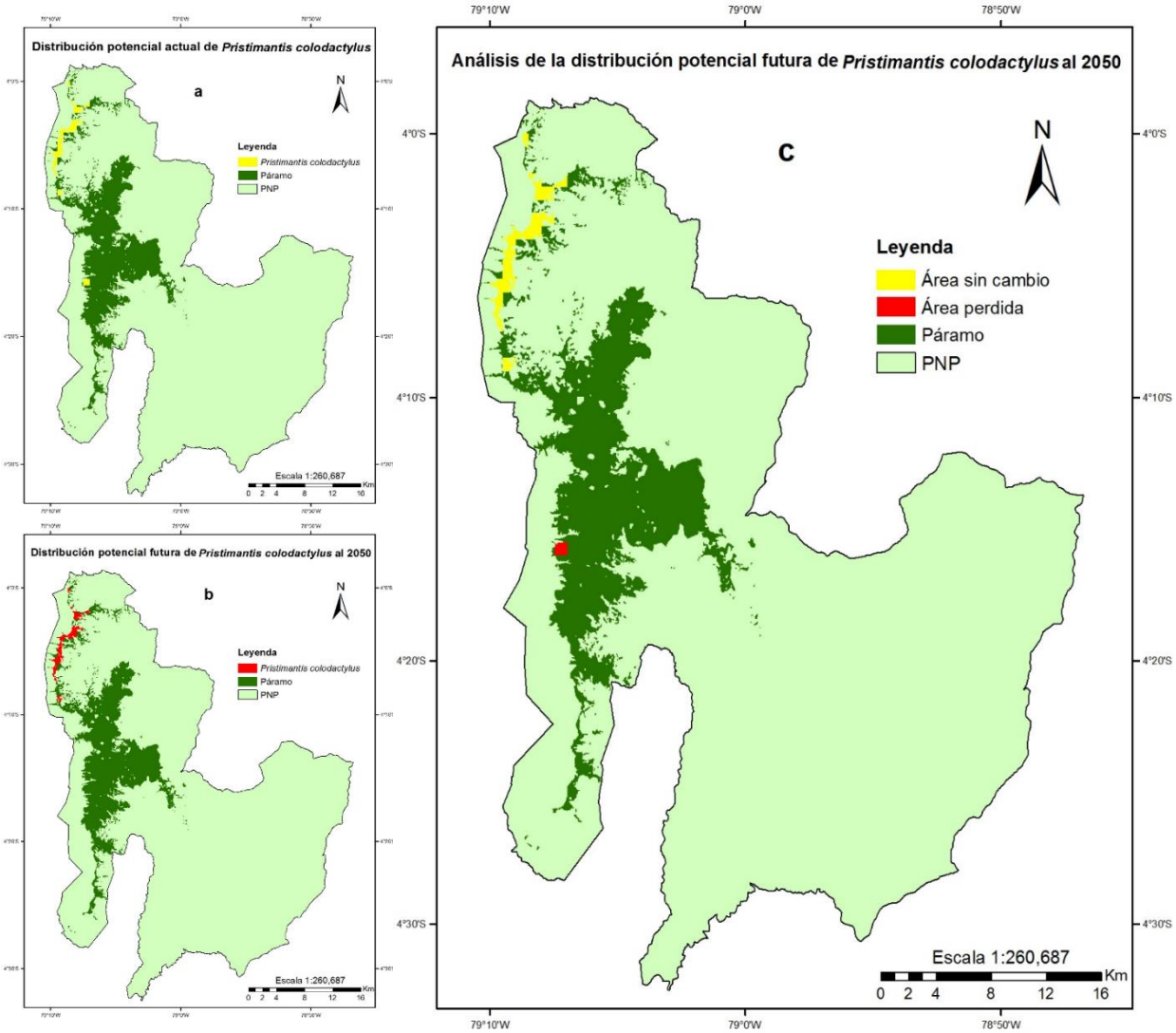


Figura 13. Distribución potencial futura de *Pristimantis colodactylus* al 2050 bajo el escenario RCP 6.0, a) distribución potencial actual, b) distribución potencial futura, c) cambios en la distribución potencial futura.

La distribución potencial futura de *Pristimantis colodactylus*, permite interpretar que para el año 2050, el 90.8 % de su área de distribución, con respecto al área potencial actual, no presentara cambios; mientras que el 9.2 % de su área se perderá, así mismo no existirán áreas colonizadas por la especie. Estas reducciones de área son consecuencia de las modificaciones de temperatura y precipitación en el páramo.

4.4.1.3 Modelo de distribución potencial futura de *Pristimantis orcesi*

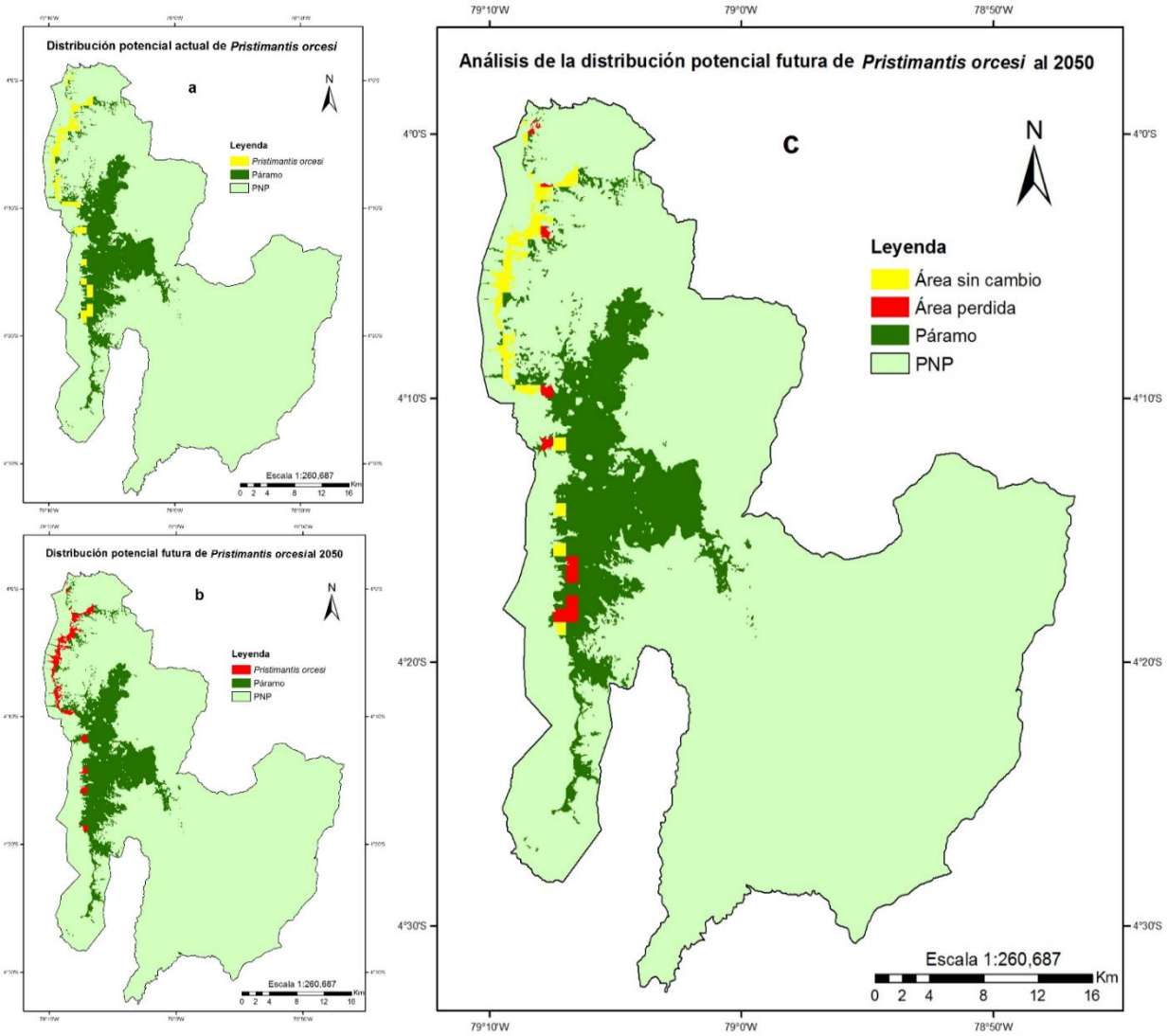


Figura 14. Distribución potencial futura de *Pristimantis orcesi* al 2050 bajo el escenario RCP 6.0, a) distribución potencial actual, b) distribución potencial futura, c) cambios en la distribución potencial futura.

La predicción del modelo, permite interpretar que para el año 2050, el área de distribución de *Pristimantis orcesi* se mantendrá en un 70.8 %, se perderá el 29.2 %, y no se colonizarán áreas nuevas. Lo que significa que las áreas que prestan las condiciones idóneas para el desarrollo de la especie se reducirán debido al incremento de temperatura y precipitación en el páramo, por tanto, la distribución de la especia se verá reducida.

4.4.1.4 Modelo de distribución potencial futura de *Pristimantis percultus*

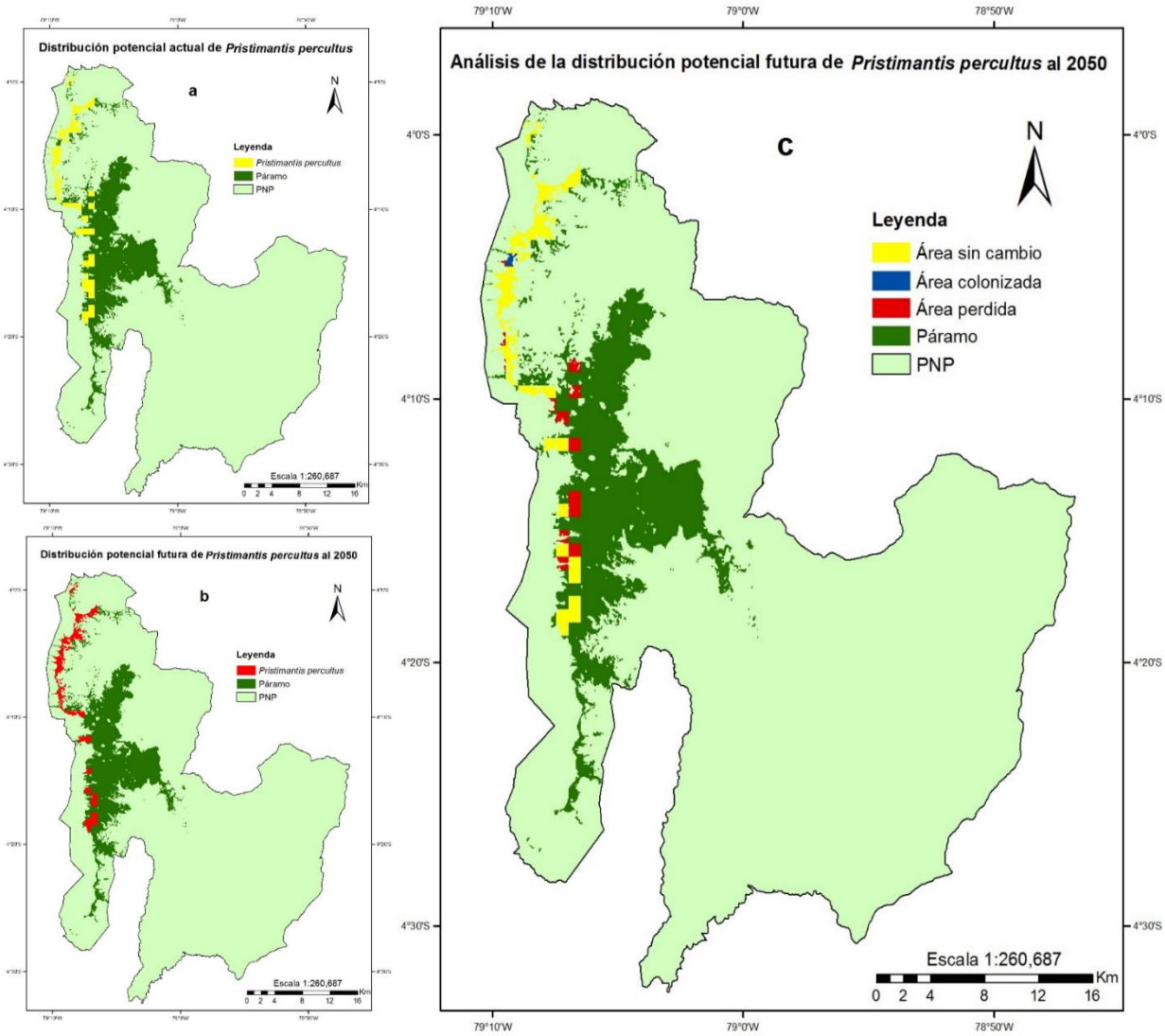


Figura 15. Distribución potencial futura de *Pristimantis percultus* al 2050 bajo el escenario RCP 6.0, a) distribución potencial actual, b) distribución potencial futura, c) cambios en la distribución potencial futura.

En la figura 15, puede observarse que la especie *Pristimantis percultus* para el año 2050 mantendrá el 78.6 % de su área intacta, el 19.4 % de su área se perderá, y colonizará un 2 %. Por tanto, se deduce que las áreas que prestan las condiciones idóneas para el desarrollo de la especie se reducirán en un futuro, sin embargo, existirá una pequeña área con condiciones ambientales favorables para ser colonizada. Estos cambios se deben al incremento de temperatura y precipitación en el páramo. A pesar de que esta especie presenta un pequeña ganancia en su área

de distribución futura, estos valores no contrarresta el área pérdida, y al igual que el resto de las especies, presenta el mismo patrón de perdida en su área de distribución.

4.4.2. Modelos de distribución potencia futura para el año 2050 bajo el escenario RCP 8.5

En el cuadro 6 se detallan los aportes de cada una de las variables, tanto bioclimáticas como topográfica, hacia el modelo.

Cuadro 6. Aporte de las variables bioclimáticas y topográfica a los modelos generados por especie.

Especie	Variable	Bio1	Bio12	MDE
Pristimantis myersi	% contr.	0.0	97.6	2.4
	Import.	0.0	99.0	1.0
Pristimantis colodactylus	% contr.	0.4	97.4	2.2
	Import.	1.5	96.0	2.5
Pristimantis orcesi	% contr.	0.2	99.1	0.7
	Import.	1.0	99.0	0.0
Pristimantis percultus	% contr.	0.6	99.4	0.0
	Import.	0.0	100	0.0

A continuación se presentan los modelos de distribución potencial futura para cada una de las especies, así como un análisis acerca de su área de distribución en el año 2050 bajo el escenario RCP 8.5.

4.4.2.1 Modelo de distribución potencial futura de *Pristimantis myersi*

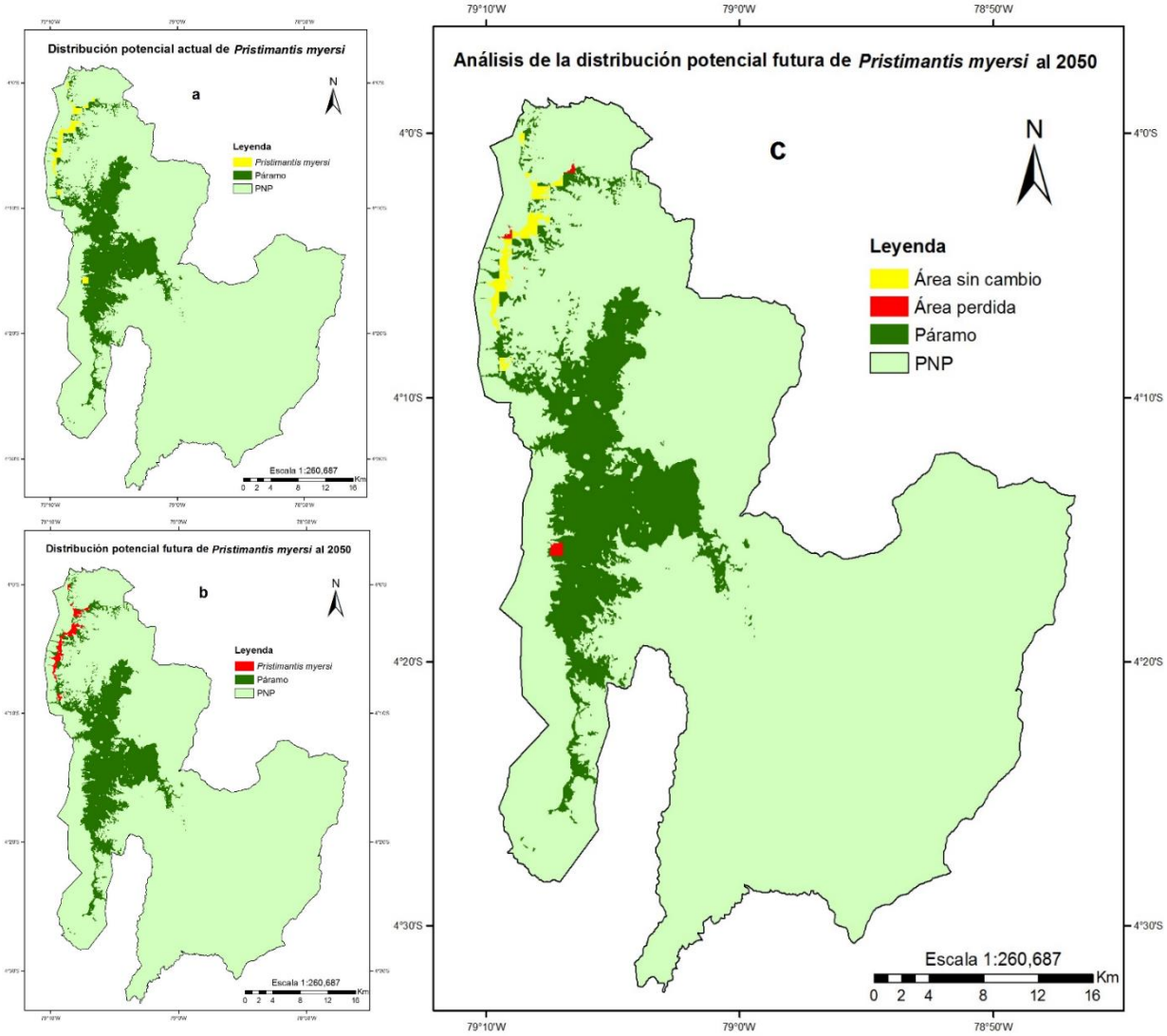


Figura 16. Distribución potencial futura de *Pristimantis myersi* al 2050 bajo el escenario RCP 8.5, a) distribución potencial actual, b) distribución potencial futura, c) cambios en la distribución potencial futura.

La predicción del modelo, permite interpretar que para el año 2050, el área de distribución de *Pristimantis myersi* se mantendrá en un 85.7 %, se perderá el 14.3 %, y no se colonizarán áreas nuevas. Estos cambios en su distribución se dan debido a que las áreas que prestan las condiciones climáticas requeridas por la especie, cada vez son menos, esto se traduce en un incremento de la temperatura y precipitación en un futuro. Lo que significa que el área de distribución de la especia se verá reducida.

4.4.2.2 Modelo de distribución potencial futura de *Pristimantis colodactylus*

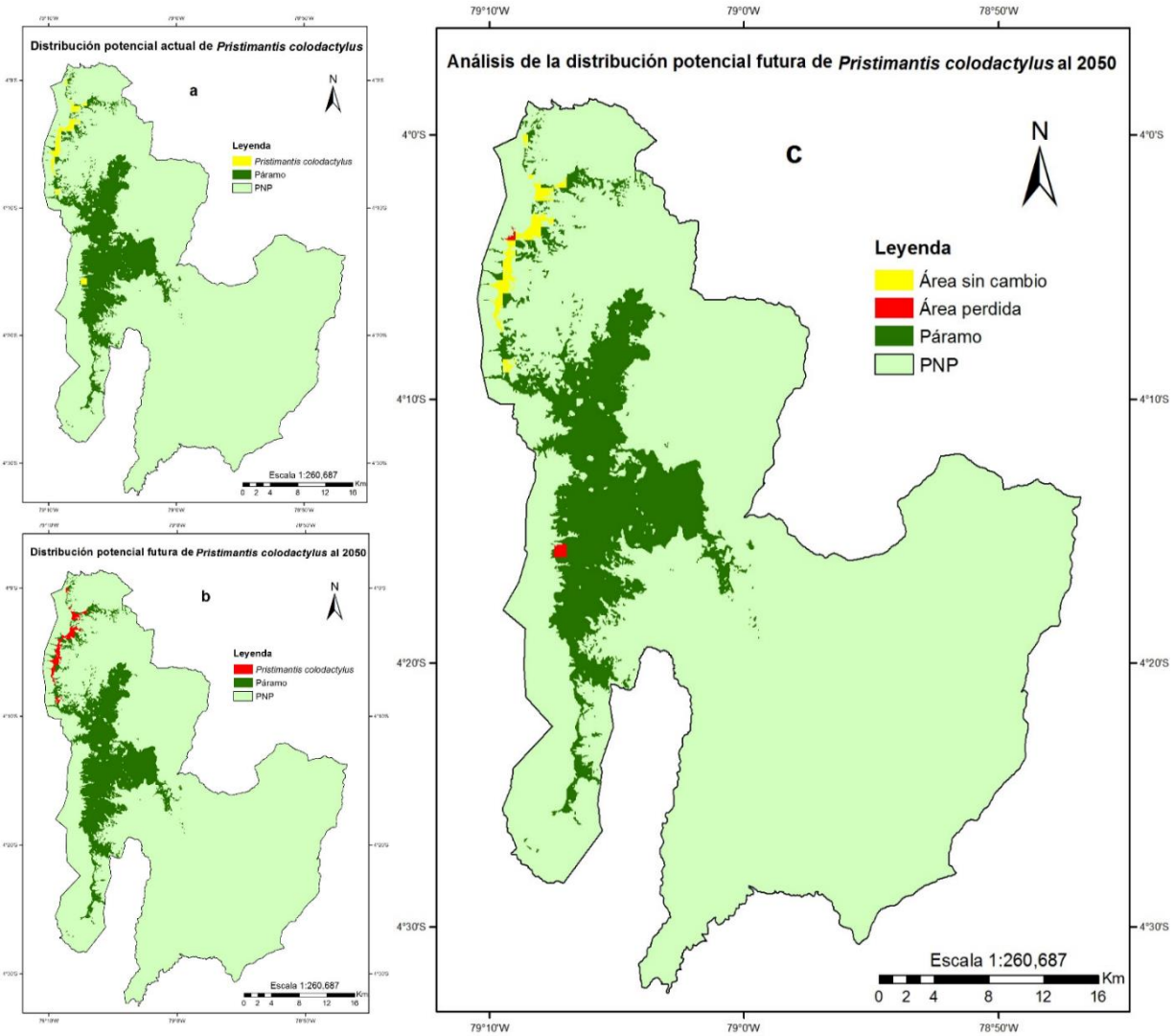


Figura 17. Distribución potencial futura de *Pristimantis colodactylus* al 2050 bajo el escenario RCP 8.5, a) distribución potencial actual, b) distribución potencial futura, c) cambios en la distribución potencial futura.

La distribución potencial futura de *Pristimantis colodactylus*, permite interpretar que para el año 2050, el 88 % de su área de distribución no presentara cambios; mientras que el 12 % de su área se perderá, así mismo no existirán áreas colonizadas por la especie. Estas reducciones de área, se dan como consecuencia del incremento de temperatura y precipitación en el páramo.

4.4.2.3 Modelo de distribución potencial futura de *Pristimantis orcesi*

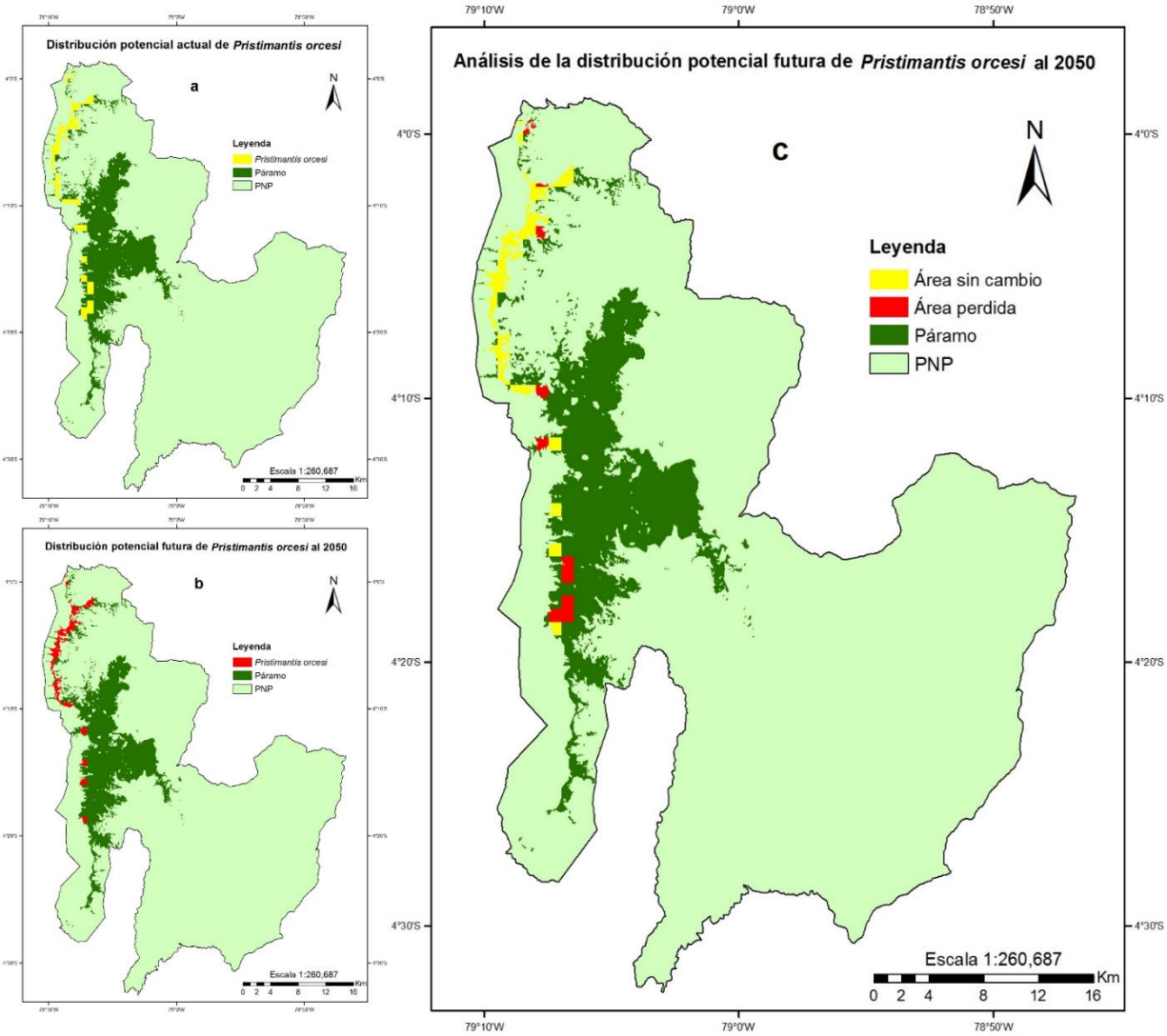


Figura 18. Distribución potencial futura de *Pristimantis orcesi* al 2050 bajo el escenario RCP 8.5, a) distribución potencial actual, b) distribución potencial futura, c) cambios en la distribución potencial futura.

En la figura 18, puede observarse que la especie *Pristimantis orcesi* para el año 2050 mantendrá el 70.8 % de su área intacta, el 29.2 % de su área se perderá, y no se colonizarán nuevas áreas. Por tanto, se infiere que las áreas que prestan las condiciones idóneas para el desarrollo de la especie se reducirán debido al incremento de temperatura y precipitación en el páramo, por tanto, la distribución de la especia se verá reducida.

4.4.2.4 Modelo de distribución potencial futura de *Pristimantis percultus*

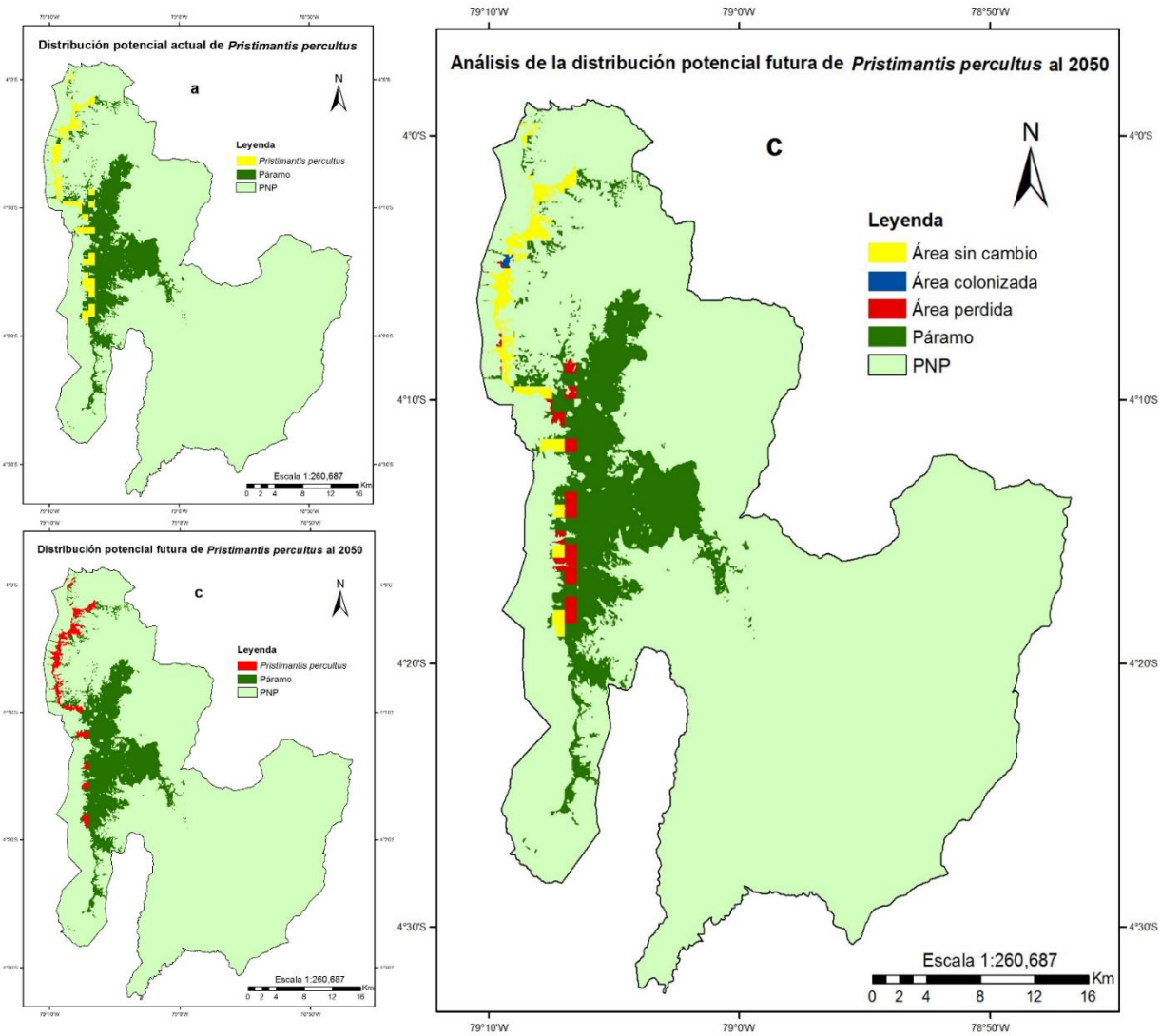


Figura 19. Distribución potencial futura de *Pristimantis percultus* al 2050 bajo el escenario RCP 8.5, a) distribución potencial actual, b) distribución potencial futura, c) cambios en la distribución potencial futura.

En la figura 19, puede observarse que la especie *Pristimantis percultus* para el año 2050 mantendrá el 67.3 % de su área intacta, con respecto al área potencial actual; el 30,7 % de su área se perderá, y colonizará un 2 %. Por tanto, se deduce que las áreas que prestan las condiciones idóneas para el desarrollo de la especie se reducirán en un futuro, sin embargo, existirá una pequeña área con condiciones ambientales favorables para ser colonizada. Estos cambios se deben al incremento de temperatura y precipitación en el páramo. A pesar de que esta especie presenta

un pequeña ganancia en su área de distribución futura, estos valores no contrarresta el área pérdida, y al igual que el resto de las especies, presenta el mismo patrón de perdida en su área de distribución.

A continuación se presenta un cuadro resumen (cuadro 7) de los cambios de la distribución potencial futura de las especies. Al año 2050, bajo los escenarios RCP 6.0 y RCP 8.5.

Cuadro 7. Datos de distribución de las especies al año 2050, bajo los escenarios RCP 6.0 y RCP 8.5.

Distribución potencial futura	**Área sin cambio (%)**		**Área perdida (%)**		**Área colonizada (%)**	
	RCP 6.0	**RCP 8.5**	**RCP 6.0**	**RCP 8.5**	**RCP 6.0**	**RCP 8.5**
Pristimantis myersi	85.9	85.7	14.1	14.3	0.0	0.0
Pristimantis colodactylus	88.0	90.8	9.2	12.0	0.0	0.0
Pristimantis orcesi	70.8	70.8	29.2	29.2	0.0	0.0
Pristimantis percultus	78.6	67.3	19.4	30.7	2.0	2.0

5. DISCUCIÓN

A continuación se presentan un breve análisis de los aspectos más importantes del este trabajo investigativo. La discusión se centra por un lado en el proceso metodológico seguido en este estudio; y por otro lado en analizar y evaluar las implicaciones de los resultados obtenidos.

5.1. ASPECTOS METODOLÓGICOS DEL MODELAMIENTO DE HÁBITAT DE LAS ESPECIES

Los modelos de distribución de especies y sus diferentes aplicaciones han mostrado ser un aporte valioso para la toma de decisiones y el manejo de especies de interés (Cárdenas *et al*., 2011), se basan en procedimientos estadísticos y cartográficos que partiendo de datos reales de presencia permiten inferir zonas potencialmente idóneas en función de sus características ambientales (Mateo *et al*., 2012). Los estudios del modelamiento de hábitat son basados principalmente en la suposición de que los resultados de los modelos deben estar correlacionados con la aptitud de las poblaciones (Banner y Schaller, 2001; Pinto-Ledezma, 2009), sin olvidar que los modelos de hábitat no son perfectos estimadores de todas las variables de las especies, siendo que algunas de estas podrían ser independientes del modelo utilizado (Marcot, 2006).

Debido a que los anfibios son indicadores adecuados, particularmente de los cambios ambientales por sus características fisiológicas, ecológicas y etológicas, son considerados barómetros del medio ambiente y se convierten en un grupo focal de estudio como bioindicadores de la salud ambiental (Salinas y Veintimilla, 2010). En este contexto, se ha despertado un enorme interés en el análisis de la relación entre las especies y su hábitat, extendiéndose los estudios de selección de hábitats; y con el desarrollo de potentes técnicas estadísticas y los sistemas de información geográfica, ha progresado rápidamente una nueva herramienta: los modelos de distribución de especies. (Olano y Peralta, 2001; Seoane y Bustamante, 2001; García, 2008).

Se han desarrollado herramientas que facilitan los procesos matemáticos para la obtención de mapas y análisis de los modelos, tales como algoritmos

matemáticos y estadísticos; los cuales se combinan para predecir la distribución espacial de una especie representada en un mapa, con base en registros de presencia de la especie y la combinación de variables ambientales.

Uno de los softwares más usados para la modelación de la distribución de especies es MaxEnt, debido a su interfaz sencilla y amigable con el usuario, y a que es especialmente útil cuando se cuenta con pocos datos de presencias (Phillips *et al*., 2005). Según Cárdenas *et al*. (2014), MaxEnt es una herramienta que facilita los procesos matemáticos para la obtención de mapas y análisis de los modelos, tales como algoritmos matemáticos y estadísticos; los cuales se combinan para predecir la distribución espacial de una especie representada en un mapa, con base en registros de presencia de la especie y la combinación de variables ambientales. Hay que mencionar que la calidad de los resultados obtenidos depende de la calidad y cantidad de registros de presencias, así como de las variables ambientales asociadas a la especie.

Otro de los softwares utilizados es ArcGis, que es una serie integrada de software de SIG que trabaja como un motor compilador de información alfanumérica (base de datos) y gráfica (capas); y sirve para visualizar, crear, manipular y gestionar información geográfica, teniendo como resultado nuevas capas de información, mapas y nuevas bases de datos (Aguirre y Chamba, 2010), la facilidad que tiene este software para procesar datos vector o raster, es de gran utilidad para el desarrollo de este tipo de investigaciones.

En resumen para realizar una modelación de la distribución de hábitat de las especies es fundamental contar con datos de presencias, así como variables climáticas asociadas a la especies, que según Báez *et al.* (2011), Urbina y Londoño (2003), Corrales (2010), Toranza (2011), coinciden que entre las principales están: la temperatura media anual (Bio1) y la precipitación anual (Bio12); además se puede incluir una variable topográfica como la altitud (MDE). Teniendo esta información es fundamental contar con softwares tales como MaxEnt y ArcGis para el procesamiento de los resultados.

5.2. DISTRIBUCIÓN POTENCIAL ACTUAL DE LAS ESPECIES

La distribución actual de las especies es un reflejo de las distintas respuestas de estas y su historia natural ante distintas interacciones bióticas y las condiciones ambientales (Aguirre, 2010). Conocer las condiciones actuales en las que se distribuyen las especies, brinda información importante para identificar espacialmente las áreas que contienen las características ambientales que éstas requieren. Si bien las especies tienen capacidad de cambiar y adaptarse, la presencia de las poblaciones en ciertas condiciones, son un indicador de sus preferencias y requerimientos. Esto es importante, debido a que las tolerancias entre las especies son distintas y esto hace que algunas sean más vulnerables al cambio climático (Gutiérrez y Trejo, 2014).

En el contexto del cambio climático actual, las especies tendrán que enfrentar diversas presiones del ambiente, tales como incrementos en la temperatura y variaciones en los ciclos hidrológicos y responder en tiempos relativamente cortos (Villers et al., 2000). Las especies se han expuesto a cambio del clima a lo largo de su historia evolutiva, pero el ritmo de los cambios actuales supera por mucho los patrones del pasado (Thuiller et al., 2011). Debido a esto, la permanencia de las especies ante el cambio climático dependerá de su habilidad de adaptación y de una migración rápida a lugares con condiciones climáticas óptimas.

Sin embargo, se sabe que los cambios en la distribución de las especies ocurren de manera lenta, ya que suelen ser procesos que tardan cientos o miles de años (Hardy, 2003), además de que las nuevas zonas podrían no ser edáficamente apropiadas para el establecimiento de algunas especies (Mckenney et al., 2007). Además, hay que tomar en consideración que la capacidad de respuesta de cada especie se vería afectada por el estado de conservación de la vegetación y por factores como la deforestación.

Estudios acerca del modelamiento de hábitat de las especies, en el páramo del Parque Nacional Podocarpus son escasos. Sin embargo destacan dos, uno realizado por Aguirre y Chamba (2010) los cuales modelaron la distribución de 10 especies vegetales con el software Idrisi Taiga para el año 2020; y el estudio realizado por

Molina (2014) la cual modelos la distribución de 10 especies vegetales con el software MaxEnt para el año 2050. Ambos coinciden que las especies se comportan con un patrón diferente dependiendo de su rango de distribución y tolerancia ambiental, sin embargo encontraron un patrón más o menos general para todas las especies, que se caracteriza por estar ampliamente distribuidas en las hondonadas del ecosistema páramo del Parque Nacional Podocarpus.

En el contexto de los resultados de la presente investigación, la distribución actual de las 4 especies de anfibios se distribuye sobre el 17 % del área total del páramo. Estas especies se distribuyen más o menos en el mismo rango altitudinal puesto que sus registros fueron levantados únicamente en el sector de Cajanuma, y a pesar de haber sido registradas en el mismo sitio, no es de esperarse que tengan la misma distribución puesto que el número de presencias utilizadas para todas las especies no fue el mismo, así por ejemplo, para *Pristimantis orcesi* se utilizaron 20 registros, y para *Pristimantis Colodactylus* se utilizaron 6 registros.

Debido a los escasos registros que presentaban las especies *Pristimantis colodactylus* y *Pristimantis percultus*, se procedió a buscar más información para tener una base de datos de presencias más robusta. El sitio que alberga datos de este tipo, es la página Amphibia Web Ecuador, en donde se puede encontrar registros de especies presentes en el ecuador, incluyendo anfibios, esta página está a cargo del Museo de Zoología QCAZ. Sin embargo, en la esta página no se pudieron encontrar registros que pertenecieran al páramo de PNP, por lo que los modelos se generaron a partir de la información existente.

En resumen para tener resultados más homogéneos entre las especies que se estudia lo ideal sería contar con el mismo número de presencias para todas las especies, y que estos registros estén distribuidos uniformemente.

5.3. DISTRIBUCIÓN POTENCIAL FUTURA DE LAS ESPECIES

Los resultados muestran que las modificaciones en las variables climáticas, propuestas por los modelos y escenarios utilizados en este estudio, podrían tener efectos en la distribución de las 4 especies de anfibios estudiados. Estas 4 especies actualmente se encuentran en el páramo del Parque Nacional Podocarpus que por sus particulares características, es altamente vulnerables frente a cambios de tipo ambiental, por tanto, las especies que este ecosistema albergan son más sensibles a variaciones en sus patrones de distribución y alteraciones en la estructura de sus comunidades (Aguirre, 2014). Los anfibios al ser vertebrados sensibles a los cambios ambientales que se producen en su entorno debido a sus atributos biológicos como piel permeable, ciclo de vidas difásicos y su variedad de estrategias reproductivas, se convierten en bioindicadores ideales para el monitoreo del cambio climático en el ecosistema páramo del Parque Nacional Podocarpus (Salinas y Veintimilla, 2010).

La distribución potencial futura fue obtenida a partir de los registros de presencias de las especies, variables bioclimáticas (escenarios RCP 6.0 y RCP 8.5 para el año 2050) de la plataforma Worldclim y un modelo de altitud del terreno (MDE).

En el contexto de los resultados de esta investigación para la distribución potencial futura de las especies se obtuvo que para el año 2050 todas las especies seleccionadas verán disminuida su área de distribución en mayor o menor grado, en comparación con la actual; de las dos variables bioclimáticas (temperatura y precipitación) asociadas a las especies se pudo observar que la precipitación condiciona en mayor grado su distribución.

Así tenemos que bajo el escenario RCP 6.0 para el año 2050, *Pristimantis orcesi* es la especie cuya distribución se verá más limitada, perdiendo el 29.2 % de su área, seguida de *Pristimantis percultus con* el 19.4 %, *Pristimantis myersi* con el 14.1 %, y *Pristimantis colodactylus* con el 9.2 %. Ninguna de las especies colonizarán nuevas áreas en el futuro, a excepción de *Pristimantis percultus* que colonizará el 2 % de su área actual.

Por otro lado tenemos similares resultados bajo el escenario RCP 8.5, y como era de esperarse del escenario más pesimista, las especies presentan una mayor disminución de su área. Bajo este escenario las especies cuya distribución se verá más afectada en el futuro son *Pristimantis orcesi* y *Pristimantis percultus*, perdiendo el 30.7 % y 29.2 % de su área respectivamente, seguida de *Pristimantis myersi* con el 14.3 % y *Pristimantis colodactylus* con el 12 %. Al igual que el anterior escenario ninguna de las especies colonizarán nuevas áreas en el futuro, a excepción de *Pristimantis percultus* que colonizará el 2 % de su área actual. Estos resultados coinciden con los obtenidos por Aguirre y Chamba (2010), Jiménez (2009) y Molina (2014) que mencionan que el paramado al ser un ecosistema muy frágil, en un futuro se verá afectado y consigo las especies que en el habitan

De los escenarios aplicados en esta investigación, a pesar de que el escenario RCP 8.5 (pesimista) pronostica un futuro muy desalentador en cuanto al cambio climático, no se aleja mucho de la realidad del escenario RCP 6.0 (moderado). Es de esperarse que en el escenario más pesimista la distribución de las especies sea mucho más drástica, sin embargo, la única especie que pierde notablemente su área es *Pristimantis percultus* que pierde del 19.4 % en el escenario RCP 6.0 a 30.7 % de su área en el escenario RCP 8.5, en las demás especies no existe un cambio significativo, e incluso en *Pristimantis orcesi*, no existe ningún cambio.

Los cambios en las áreas de la distribución de las especies en un futuro, debido al cambio climático son inminentes, pues según el IPCC en su quinto informe de evaluación (2013) a finales del siglo XXI, el aumento de la temperatura global en superficie respecto a 1850 probablemente superará 1.5 º C en todos los escenarios. Además Gutiérrez y Trejo (2014) mencionan que a mayor concentración de CO_2 en la atmósfera supone un mayor aumento en la temperatura, por lo que el efecto en las especies que se distribuyen en las partes altas de las montañas será mayor.

Según Toranza (2011), la distribución de las especies depende de su hábito de vida, y en particular, la capacidad de desplazarse podría condicionar la respuesta de las especies al cambio climático. Así por ejemplo animales como los mamíferos que tiene mayor capacidad de desplazamiento pueden tener mejor capacidad de

ajustarse a las modificaciones climáticas, en comparación con los anfibios cuya capacidad de desplazamiento es menor, por tanto, podrían ser más sensibles y/o tener una menor capacidad de respuesta ante los cambios proyectados.

Hay que mencionar que la pérdida de la distribución de las especies no sólo se debe al cambio climático, sino también a otros factores como la fragmentación del hábitat, el cambio de uso del suelo, especies invasoras, etc. (Gutiérrez y Trejo, 2014), por lo que la pérdida de áreas de distribución de las especies, probablemente puede ser mayor que la proyectada en esta investigación.

6. CONCLUSIONES

Luego de la culminación de la presente investigación y de analizar los resultados obtenidos, se pudieron establecer las siguientes conclusiones:

- Las áreas en la distribución potencial actual de las especies presentan ampliaciones respecto a sus áreas de distribución actual reales, esto es esperable debido que al modelar la distribución actual, MaxEnt nos indica todas las áreas que prestan las condiciones ambientales idóneas para el desarrollo de las especies, esto es de utilidad puesto que a partir de estas áreas se pueden definir los cambios en la distribución de las especies, en el futuro.

- La distribución potencial futura de todas las especies estudiadas demuestra efectos negativos en un futuro, puesto que todas presentan una disminución en su área de distribución para cualquiera de los escenarios, tres de las cuatro especies únicamente pierden su área; *Pristimantis percultus* por el contrario, a pesar de perder, también coloniza nuevas áreas, sin embargo, el área ganada es relativamente menor a la perdida por tanto en un futuro también vera disminuido su rango de distribución.

- Al contrastar los escenarios de cambio climático se observó que es más favorable el panorama que se presentaría bajo el escenario RCP 6.0, que bajo el escenario RCP 8.5, a pesar de esto, todas las especies presentaron un patrón común en la pérdida de su distribución, sin embargo, estas pérdidas son más o menos similares para ambos escenarios, siendo que la especie *Pristimantis percultus* es la única que sufre un cambio notorio, bajo el segundo escenario.

7. RECOMENDACIONES

Entre las recomendaciones que se han podido identificar después de haber culminado la presente investigación se mencionan las siguientes:

- La inclusión de otras variables asociadas a la especie en estudio, en este caso podría ser la humedad relativa, que es bien sabido que está estrechamente relacionado con el comportamiento de los anfibios; esto con la finalidad de robustecer los resultados obtenidos del modelo.

- Validar la información en los lugares que potencialmente podrían estar las especies y de los cuales no se tienen registros, esto con la finalidad de verificar la confiabilidad del modelo, además de tener más registros de estas especies, para futuras investigaciones.

- Difundir los resultados obtenidos pues estos ayudarán a los tomadores de decisiones, como el Ministerio del Ambiente u ONG's, a tomar las decisiones más acertadas en beneficio de la conservación de los anfibios, pues cuanto mejor se entienda las implicaciones del cambio climático sobre estas especies, mejores serán las estrategias de conservación que se tomen.

8. BIBLIOGRAFÍA

Aguirre C. y C. Chamba. 2010. Patrones de comportamiento de 10 especies vegetales del páramo del Parque Nacional Podocarpus ante escenarios de cambio climático. Tesis Ing. Forestal. Carrera de Ingeniería Forestal, Universidad Nacional de Loja. Ecuador. 92 p.

Aguirre N. 2014. Evaluación de la vulnerabilidad a potenciales impactos del cambio climático en los principales ecosistemas de la Región sur del Ecuador. Disponible en: http://nikolayaguirre.com/investigacion/ (Consultado Marzo 28, 2015).

Arancibia M. 2008. El uso de los sistemas de información geográfica -SIG- en la planificación estratégica de los recursos energéticos. Revista Polis Vol 7 (20): 227-238.

Arribas P., P. Abellan, J. Velasco, D Bilton, J. Lobo, et al. 2012. La vulnerabilidad de las especies frente a cambio climático, un reto urgente para la conservación de la biodiversidad. Ecosistemas 21(3):79-8.

Báez S., F. Cuesta, Y. Cáceres, C. Arnillas, R. Vásquez. 2011. Síntesis del conocimiento de los efectos del Cambio Climático en la biodiversidad de los Andes Tropicales. Serie Panorama Andino sobre Cambio Climático. CONDESAN, SGCAN. Lima-Quito.

Banner, A. y S. Schaller. 2001. Gulf of Maine watershed habitat analysis, Gulf of Maine Program, Falmouth, ME. U.S. Department of the Interior, Fish and Wildlife Service, Falmouth. 160 p.

Barrera J. y N. Barrera. 2012. Beneficios del ecosistema páramo, organizaciones y políticas de conservación- Aproximaciones al páramo el consuelo del municipio de Cerinza, Boyacá. Desarrollo Economía y Sociedad Vol 1 (1).

Bartolín H. 2013. Confección de modelos de redes de distribución de agua desde un SIG y desarrollo de herramientas de apoyo a la toma de decisiones. Tesis Doctoral, Departamento de Ingeniería Hidráulica y Medio Ambiente, Universidad Politécnica de Valencia. 576 p.

Benito B. y J. Peñas. 2007. Aplicación de modelos de distribución de especies a la conservación de la biodiversidad en el sureste de la península ibérica. Geofocus pp. 100-119. (En línea) URL: http://geofocus.rediris.es/2007/Articulo6_2007.pdf (Consultado Mayo 14, 2014).

Bernal E., S. Celis, X. Galíndez, C. Moratto, J. Sánchez y D. García. 2006. Microflora cultivable y endomicorrizas obtenidas en hojarascas de bosque (páramo Guerrero – finca puente de tierra) Zipaquirá, Colombia. Revista Acata Biológica Colombiana Vol 11 (2) pp. 125-130. (En línea) URL: http://www.redalyc.org/pdf/3190/319028579010.pdf (Consultado Mayo 11, 2014).

Bosch J. 2003. Nuevas amenazas para los anfibios: enfermedades emergentes. Munibe (16): 56-73. (En línea) URL: http://www.euskomedia.org/PDFAnlt/munibe/2004056073.pdf (Consultado Mayo 12, 2014).

Briones M., M. Lavariega, y I. Lira. 2012. Distribución actual y potencial del jaguar (*Panthera onca*) en Oaxaca, México. Revista Mexicana de Biodiversidad 83: 246-257. (En línea) URL: http://www.scielo.org.mx/pdf/rmbiodiv/v83n1/v83n1a27.pdf (Consultado Abril 04, 2015).

Bustamante N., S. Ron, L. Coloma. 2005. Cambios en la Diversidad en Siete Comunidades de Anuros en los Andes de Ecuador. BIOTROPICA 37(2): 180–189 2005.

Calderón R. 2009. Estrategia para el manejo de anfibios a uso en México. (En línea) URL: http://www2.inecc.gob.mx/publicaciones/libros/646/estrategia.pdf (Consultado Mayo 12, 2014).

Cárdenas D., N. Castaño, S. Sua, M. Montero y L. Ruiz. 2011. Evaluación de la distribución potencial actual en Colombia del cedro (*Cedrela odorata*) y el cocobolo (*Dalbergia retusa*), especies incluidas en apéndices CITIES y recomendaciones para el manejo in situ de sus poblaciones. Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas SINCHI. (En línea) URL: http://www.cites.org/sites/default/files/common/com/pc/19/S19i-03.pdf (Consultado Abril 5, 2014).

Chapman, S. B. 1976. Methods in plant ecology. Blackwell Scientific, Osney Mead, Oxford. 580 p.

Cisneros R., F. López, L. Ordoñez, y W. Guzmán. 2004. La carretera Cajanuma - Lagunas del Compadre en el Parque Nacional Podocarpus: La susceptibilidad de las áreas protegidas. ISSN 1390-1222.

CMCC. 1992. Convención Marco de las Naciones Unidad Sobre el Cambio Climático. Disponible en: http://unfccc.int/resource/docs/convkp/convsp.pdf (Consultado Abril 27, 2014).

Coloma L., A. Duellman y W. Almendáris. 2014. *Atelopus podocarpus*. En: Centro Jambatu. 2011–2012. Anfibios de Ecuador. Fundación Otonga. Quito, Ecuador. (En línea) URL: http://www.anfibioswebecuador.ec/fichaespecie.aspx?Id=151 (Consultado Junio 1, 20014).

Corrales L. 2010. Cuarto informe estado de la región: Informe final, fectos del Cambio Climático para Centroamérica. Disponible en: http://www.estadonacion.or.cr/files/biblioteca_virtual/otras_publicaciones/Pobreza%20ruralCA/Informes/Informe%20Regional%20CAMBIO%20CLIMATICO.pdf (Consultado Abril 05, 2015).

Daneri F. y R. Muzio. 2013. El aprendizaje espacial y su relevancia en anfibios. Revista Argentina de Ciencias del Comportamiento (RACC) Vol 5 (3) pp. 38-49. (En línea) URL: http://revistas.unc.edu.ar/index.php/racc/article/view/5552/Daneri (Consultado Mayo 11, 2014).

Díaz H. y J. Ortiz. 2003. Evaluación del estado de conservación de los anfibios n Chile. Revista Chilena de Historia Natural. 76: 509-525.

Díaz M., J. Navarrete y T. Suárez. 2005. Páramos. Hidrosistemas Sensibles. Revista de Ingeniería. 12pp. (En línea) URL: https://revistaing.uniandes.edu.co/pdf/A8%2022.pdf (Consultado Mayo 11, 20014)

Echegaray J. y A. Hernando. 2008. Amenazas de los anfibios. (En línea) URL: http://www9.euskadi.net/sustrai/datos/67_p50-52.pdf (Consultado Mayo 12, 2014).

ECOLAP y MAE. 2007. Guía del Patrimonio de Áreas Naturales Protegidas del Ecuador. ECOFUND, FAN, DarwinNet, IGM. Quito, Ecuador. Disponible en: http://web.ambiente.gob.ec/ (Consultado Mayo 11, 2014).

Eguiguren P., T. Ojeda y N. Aguirre. 2010. Diversidad florística del ecosistema páramo el Parque Nacional Podocarpus para el monitoreo de cambio climático. Revista Universitaria (Ecuador). (En línea) URL: http://www.unl.edu.ec/miccambio/wp-content/uploads/2010/06/Diversidad-

Flor%C3%ADstica-del-Ecosistema-P%C3%A1ramo-del-PNP-para-el-Monitoreo-del-Cambio-Clim%C3%A1tico1.pdf (Consultado Mayo 11, 2014).

Elith J., C. Graham, R. Anderson, M. Dudick, S. Ferrier, A. Guisan, *et al.* 2006. Novel method improve prediction of species distributions from occurrence data. Ecography 29: 129-151.

Estévez J. 2006. EL Páramo: ¿Ecosistema en vía de extinción? Disponible en: http://lunazul.ucaldas.edu.co/index.php?option=com_content&task=view&id=44&Itemid=44 (Consultado Abril 18, 2014).

Fernández L. y I. Goyenechea. 2010. Anfibios y reptiles del valle del Mezquital, Hidalgo, México. Revista Mexicana de Biodiversidad Vol 81 (3) pp. 705-712. Universidad Nacional Autónoma de México. (En línea) URL: http://www.redalyc.org/pdf/425/42518439012.pdf (Consultado Mayo 12, 2014).

Fundación Páramo. 207 ¿Qué son los páramos? Disponible en: http://www.fundacionparamo.org/index.php?id=informacion_paramo (Consultado Abril 11, 2014).

García M. 2008. Modelos predictivos de riqueza de diversidad vegetal. Comparación y optimización de métodos de modelado ecológico. Tesis de Doctorado, Facultad de Ciencias Biológicas, Universidad Complutense de Madrid. 188 p.

Giraldo M. 2007. Modelo de distribución potencial de *Condalia thomasiana* (Rhamnaceae), una especie endémica y amenazada de la Sabana de Bogotá, Cundinamarca, Colombia. Jardín Botánico de Bogotá José Celestino Mutis, Centro de Investigación y Desarrollo Científico. (En línea) URL: http://jbb-repositorio.metabiblioteca.org/bitstream/001/326/3/anexo7.pdf (Consultado Mayo 14, 2014).

Grupo de trabajo en páramos del Ecuador. 2004. Páramo. EcoCiencia. Disponible en: http://www.ecociencia.org/archivos/paramo_GTP21-091128.pdf (Consultado Abril 12, 2014).

Gutiérrez E. y I. Trejo. 2014. Efecto del cambio climático en la distribución potencial de cinco especies arbóreas del bosque templado en México. Revista Mexicana de biodiversidad. Vol 85 (1): 179-188.

Hardy, J. 2003. Climate change causes, effects and solutions. Willey, New York. 247 p.

Hernández P., C. Graham, L. Master, D. Albert. 2006. The effect of sample size and species characteristic on performance of different species distribution modeling methods. Ecography 29: 773-785.

Hofstede R., P. Segarra y P. Mena. (Eds.). 2003. Los páramos del mundo. Proyecto Atlas Mundial de los Páramos. Global Peantlad Initiative/NC-UICN/EcoCiencia. Quito.

Hole D., K. Young, A. Seimon, C. Gómez, D. Hoffmann, et al. 2012. Manejo adaptativo para la conservación de la biodiversidad frente al cambio climático-Perspectiva en los Andes Tropicales. Pp. 23-55. En: Herzog S., R. Martínez, P. Jorgensen y H. Tiessen (Eds) Cambio climático y biodiversidad en los Andes Tropicales.

Hurtado C. 2007. Uso de modelos de predicción como herramienta para estimar el área de distribución potencial de la especie *Aniba perutilis Hemsley* (comino crespo) en el departamento del Valle del Cauca. Tesis Ecología. Facultad de Ciencia Naturales, Fundación Universitaria de Popayán. Colombia. 72 p.

IPCC. 2000. Informe especial del IPCC, Escenario de emisiones: Resumen para responsables de políticas. Disponible en: http://www.ipcc.ch/pdf/special-reports/spm/sres-sp.pdf (Consultado Abril 27, 2014).

IPCC. 2001. Glosario de términos del IPCC. Disponible en: http://www.ipcc.ch/pdf/glossary/tar-ipcc-terms-sp.pdf (Consultado Abril 27, 2014).

IPCC. 2002. Cambio climático y biodiversidad. Disponible en: http://unfccc.int/resource/docs/convkp/convsp.pdf (Consultado Abril 27, 2014).

IPCC. 2007. Cambio climático 2007. Informe de síntesis. Disponible en: http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar4/syr/ar4_syr_sp.pdf (Consultado Abril 27, 2014).

IPCC. 2013. Cambio climático 2013. Bases físicas: Resumen para responsables de políticas. Disponible en: https://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar5/wg1/WG1AR5_SPM_brochure_es.pdf (Consultado Marzo 27, 2015).

Jaimes V. y L. Sarmiento. 2002. Regeneración de la vegetación de páramo después de un disturbio agrícola en la cordillera oriental de Colombia. Ecotrópicos Vol 15 (1): 61-74.

Jiménez M. 2009. Resiliencia de los ecosistemas naturales terrestres de Costa Rica al cambio climático. Tesis para optar por el grado de: Magister Scientiae en Manejo y Conservación de Bosques Tropicales y Biodiversidad. Programa de Educación para el Desarrollo y la Conservación a la Escuela de Posgrado del CATIE. Turrialba-Costa Rica. 140 p.

Jiménez S. y L. Martín. 2012. Proyecto sapo S.O.S. (En línea) URL: http://www2.uah.es/josemrey/Docencia/Materia16Master/SOSsapo.pdf (Consultado Mayo 12, 2014).

Koleff P. y J. Saberón. 2008. Patrones de diversidad espacial en grupos selectos de especies en Capital Natural de México, vol. 1: Conocimiento actual de la biodiversidad. CONABIO, México, pp. 323-364.

Leal O., M. Mendoza, D. Pérez, D. Geneletti, E. López, E. Carranza. 2012. Distribución potencial del *Pinus martinezii*: un modelo espacial basado en conocimiento ecológico y análisis multicriterio. Revista Mexicana de Biodiversidad 83: 1152-1170.

López D. 2014. Predicción de la futura distribución potencial de *Quercus humboldtii* bajo diferentes escenarios de cambio climático. Tesis para Magíster en Sistemas de Información Geográfica. Universidad San Francisco de Quito. Ecuador. 70 p.

Lorente I., D. Gamo, J. Gómez, R. Santos, L. Flores, et al. 2004. Los efectos biológicos del cambio climático. Ecosistemas (España) 13 (1): 103-110.

MAE. 2010. Parque Nacional Podocarpus. Disponible en: http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/20549059 (Consultado Mayo 13, 2014).

Mansilla E. 2012. Análisis de vulnerabilidades frente al cambio climático en la margen derecha del río Mapacho-Distrito de Challabamba. Zona de amortiguamiento del Parque Nacional del Manu. Cusco, Perú. 2012.

Marcot, B. G. 2006. Habitat modelling for biodiversity conservation. Northwestern Naturalist 87: 56–65.

Mateo R., A. Felicísimo y J. Muñoz. 2011. Modelos de distribución de especies: Una revisión sintética. Revista Chilena de Historia Natural 84: 217-240.

Mckenney, D. W., J. H. Pedlar, K. Lawrence, K. Campbell y M.F. Hutchinson. 2007. Potential impacts of climate change on the distribution of North American trees. BioScience 57:939-948.

Mecanismos de Información de Páramos. 2010. El páramo, imán para nuevo proyectos. Disponible en: http://www.paramo.org/dvd/Paramo%20Andino%20coordinaci%C3%B3n/Componente%204/4D.%20Mecanismo%20de%20Informaci%C3%B3n%20de%20p%C3%A1ramos/informe_MIP_final_con_anexos2.pdf (Consultado Mayo 13, 2014).

Mena P. y R. Hofstede. 2000. Los páramos ecuatorianos. Botánica Económica de los Andes Centrales. Disponible en: http://www.beisa.dk/Publications/BEISA%20Book%20pdfer/Capitulo%2006.pdf (Consultado Mayo 16, 2014).

Molina W. 2014. Modelamiento del comportamiento de especies vegetales seleccionadas del páramo del Parque Nacional Podocarpus ante posibles cambios climáticos. Tesis Ing. Ambiental. Carrera de Ingeniería en Manejo y Conservación del Medio Ambiente, Universidad Nacional de Loja. Ecuador. 99 p.

Morales N. 2012. Modelo de distribución de especies: Software MaxEnt y sus aplicaciones en conservación. Revista Conservación Ambiental Vol 2 (1): 1-5.

Naoki K., M. Gómez, R. López, R. Meneses y J. Vargas. 2006. Comparación de modelos de distribución de especies para predecir la distribución potencial de vida silvestre en Bolivia. Ecología en Bolivia, 41(1): 65-78. (En línea) URL: http://www.ibcperu.org/doc/isis/9867.pdf (Consultado Abril 5, 2014).

Navas C. 1999. Biodiversidad de anfibios y reptiles en el páramo: una visión eco-fisiológica. Revista académica colombiana de ciencias. ISSN 0370-3908. (En línea) URL: http://www.accefyn.org.co/revista/Vol_23/supl/465-474.pdf (Consultado Mayo 4, 2014).

Olano J. y J. Peralta. 2001. Modelos predictivos de distribución de especies comunes en matorrales basófilos de navarra: Aplicación en distintos escenarios climáticos. Cuad. Soc. Esp. Cien. For. 12: 47-55. (En línea) URL: http://secforestales.org/publicaciones/index.php/cuadernossecf/article/viewFile/939/92 (Consultado Abril 5, 2014).

Olivo M. y A. Soto. 2012. Impactos potenciales de los cambios climáticos. Universidad, ciencia y tecnología Vol 16 (62) pp. 12-22. ISSN 1316-4821. (En línea) URL: http://www.scielo.org.ve/pdf/uct/v16n62/art02.pdf (Consultado Mayo 10, 2014).

Peñuelas J., S. Sabaté, I. Filella, C. Gracia. 2010. Efectos del cambio climático sobre los ecosistemas terrestres: observación, experimentación y simulación. Pp. 425-460. En: Valladares, F. 2010. Ecología del bosque mediterráneo en un mundo cambiante. Ministerio de Medio Ambiente, EGRAF, S. A., Madrid. ISBN: 84-8014-552-8.

Phillips S., J. Anderson, P. Robert, R. Schapire. 2006. Maximum entropy modeling of species geographic distributions Ecological Modelling. 190: 231-259.

Pinto-Ledezma, J. 2009. Identificación de áreas de protección especial para la protección de aves migrantes en la reserva Mar Chiquita. Tesis de maestría en manejo de vida silvestre, Universidad Nacional de Córdoba, Córdoba. 98 p.

Pliscoff P. y T. Fuentes. 2011. Modelación de la distribución de especies y ecosistemas en el tiempo y en el espacio: una revisión de las nuevas herramientas y enfoques disponibles. Revista de Geografía Norte Grande Vol

48: 51-79. (En línea) URL: http://www.redalyc.org/pdf/300/30018455005.pdf (Consultado Mayo 14, 2014).

Ramírez S. y M. Rodríguez. 2011. Estado poblacional y relaciones ecológicas de *Gastrotheca riobambae* (Anura: *Hemiphractidae*) en dos localidades del Volcán Pasochoa, Pichincha – Ecuador. Grupo de Biodiversidad IASA. 7: 79-97.

Rodríguez A. 2011. Aplicación de modelos de distribución geográfica para la conservación y reintroducción en el hábitat natural de *lychnophora ericoides*: especie amenazada de extinción en los cerrados (Sabanas brasileñas). Tesis de Maestría del IX Máster Universitario en Conservación y Gestión del Medio Natural. Universidad Internacional de Andalucia. España. 94 p.

Rueda J. 2006. Anfibios y reptiles amenazados de extinción en Colombia. Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales Vol 23: 475-498. (En línea) URL: http://www.accefyn.org.co/revista/Vol_23/supl/475-497.pdf (Consultado Mayo 12, 2014).

Salinas K. y D. Veintimilla. 2010. Patrones de diversidad de anuros en el ecosistema páramo del Parque Nacional Podocarpus. Tesis Ing. Ambiental. Carrera de Ingeniería en Manejo y Conservación del Medio Ambiente, Universidad Nacional de Loja. Ecuador. 99 p.

Sandoval V., P. Real, G. Vergara y G. Trincado. 2002. Desarrollo de un sistema de información geográfico forestal en Chile. Bosque Vol 23 (1) 91-99. (En línea) URL: http://mingaonline.uach.cl/pdf/bosque/v23n1/art08.pdf (Consultado Mayo 13, 2014).

Santín A. y E. Vidal. 2012. Generación de una línea base de los reservorios de carbono de los páramos del PNP y evaluación de su aplicación como

mecanismo de mitigación al cambio climático. Tesis Ing. Ambiental. Carrera de Ingeniería en Manejo y Conservación del Medio Ambiente, Universidad Nacional de Loja. Ecuador. 147 p.

Seoane J. 2005. Modelos predictivos de distribución de aves esteparias en las Islas Orientales del Archipiélago Canario. Universidad Autónoma de Madrid-Programa de seguimiento y planificación de especies amenazadas de Canarias "CENTINELA". Madrid, España. 66 p.

Seoane J. y J. Bustamante. 2001. Modelos predictivos de la distribución de especies: Una revisión de sus limitaciones. Ecología, 15: 13 pp. (En línea) URL: http://www.uam.es/personal_pdi/ciencias/jspinill/publicaciones/ECOLOGIA_2001_15_9_21.PDF (Consultado Marzo 13, 2014).

Tejedo M., R. Márquez, J. Beltrán, F. Marangoni, D. Llusia, et al. 2013. Las investigaciones sobre anfibios en el Parque Natural Sierra Norte. (En línea) URL: http://www.juntadeandalucia.es/medioambiente/web/Bloques_Tematicos/Patrimonio_Natural._Uso_Y_Gestion/Espacios_Protegidos/publicaciones_renpa/investigacion_cientifica_s_norte/12_investigaciones.pdf (Consultado Abril 27, 2014).

Terribile L., D. Filho, y J. De Marco. 2010. How many studies are necessary to compare niche-based models for geographic distributions? Inductive reasoning may fail at the end. Disponible en: http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/20549059 (Consultado Mayo 3, 2014).

Thuiller, W., S. Lavergne, C. Roquet, I. Boulangeat y M. B. Araújo. 2011. Consequences of climate change on the Tree of Life in Europe. Nature 448: 550-552.

Toranza C. 2011. Riqueza de anfibios de Uruguay: determinantes ambientales y posibles efectos del cambio climático. Tesis de Maestría en Ciencias Biológicas Subárea Ecología. Facultad de Ciencias, Universidad de la República. Uruguay. 67 p.

Urbina J. y M. Londoño. 2003. Distribución de la comunidad de herpetofauna asociada a cuatro áreas con diferente grado de perturbación en la Isla Gorgona, Pacífico colombiano. Rev. Acad. Colomb. Cienc. 27(102):105-113. ISSN 0370-3908

Valencia A., M. Cortés y C. Ruiz. 2008. Servicios ecosistémicos brindados por los anfibios y reptiles del neotrópico: Una visión general. Capital Natural. 26 pp. (En línea) URL: http://www.conservation.org.co/wp-content/themes/CI-Colombia/images/ci//2012/11/Reflexiones_CN_No-1._2_web.pdf (Consultado Mayo 12, 2014).

Vega J., M. Ortega, y R. Guerrero. 2008. Análisis de la distribución del colorín pecho naranja (*Passerina leclancherii*): una especie endémica de la vertiente del pacifico Mexicano. Ornitologóa Neotropical. 19: 265-274.

Villers, L. y I. Trejo. 2000. El cambio climático y la vegetación. In México: una visión hacia el siglo XXI. El cambio climático en México, C. Gay (ed.). Instituto Nacional de Ecología, Universidad Nacional Autónoma de México, México, D. F. p. 57-72.

Webster J. 2010. Estudio de la dinámica poblacional de *Epipedobates anthonyi* (Noble 1921) en 3 localidades del sur-occidente del Ecuador. Tesis Biología del Medio Ambiente. Escuela de biología del Medio Ambiente, Universidad del Azuay. Ecuador. 91 p.

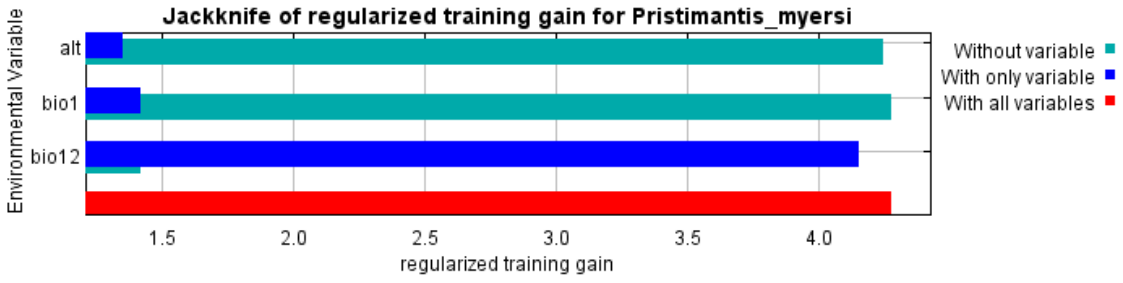
WorldClim (Global Climate Data). 2014. Formato de datos. Disponible en: http://www.worldclim.org/formats (Consultado Febrero 24, 2015).

Young B., K. Young y C. Josse. 2012. Vulnerabilidad de los Ecosistemas de los Andes Tropicales al cambio climáticos. Pp 195-208. En: Herzog S., R. Martínez, P. Jorgensen y H. Tiessen (Eds) Cambio climático y biodiversidad en los Andes Tropicales.

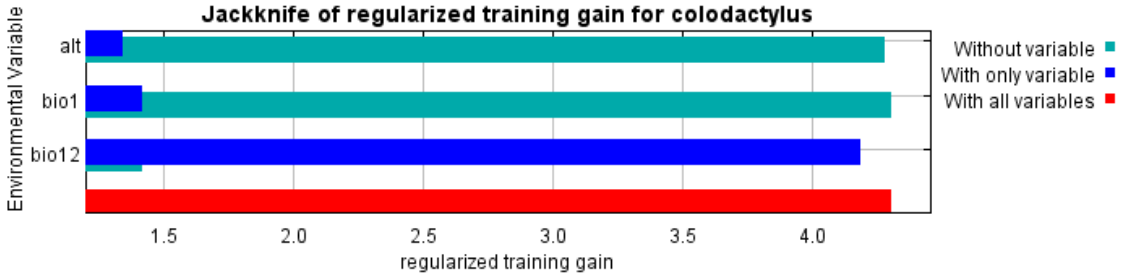
9. ANEXOS

Jackknife de la distribución potencial actual de las especies

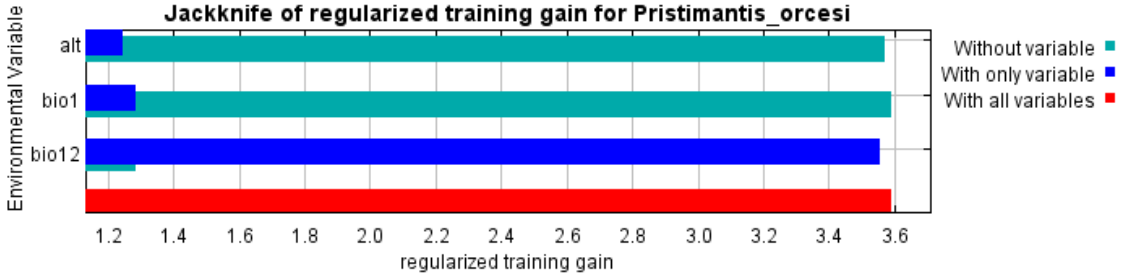
Anexo 1. Jackknife de la especie *Pristimantis myersi*



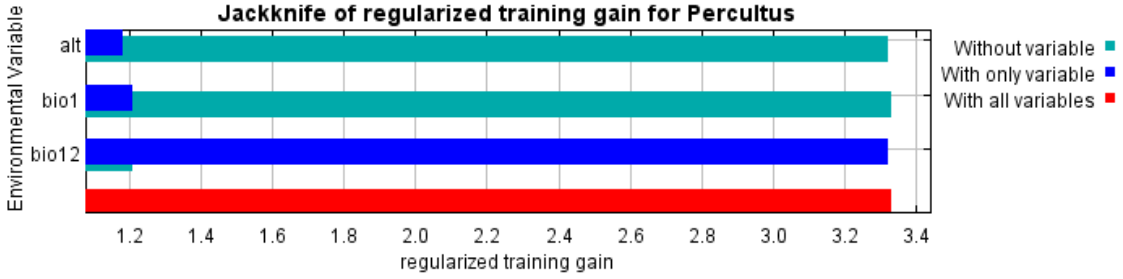
Anexo 2. Jackknife de la especie *Pristimantis colodactylus*



Anexo 3. Jackknife de la especie *Pristimantis orcesi*

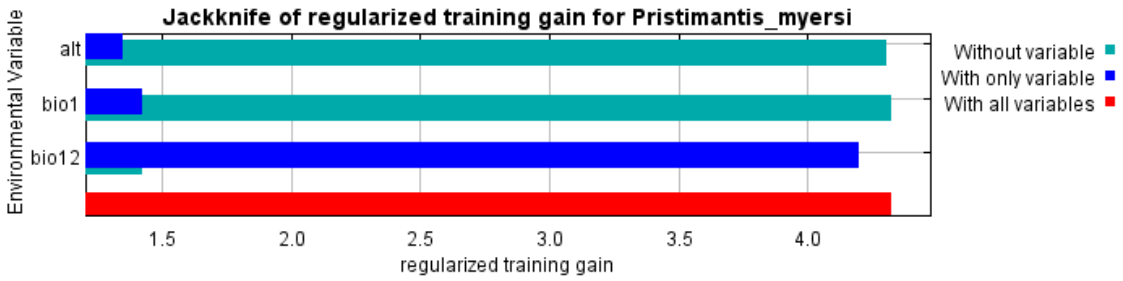


Anexo 4. Jackknife de la especie *Pristimantis percultus*

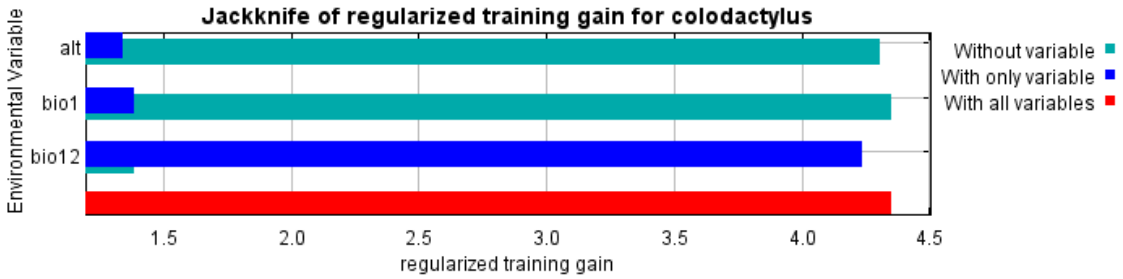


Jackknife de la distribución potencial futura de las especies para al año 2050, bajo el escenario RCP 6.0

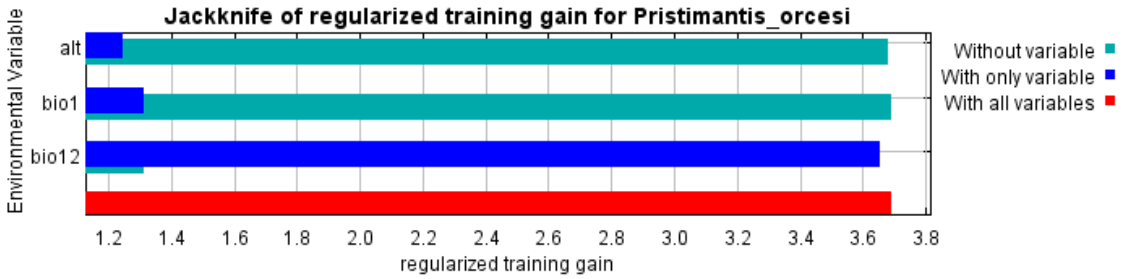
Anexo 5. Jackknife de la especie *Pristimantis myersi*



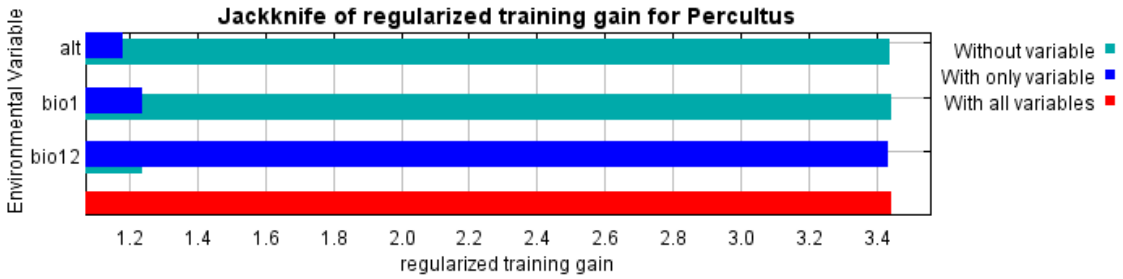
Anexo 6. Jackknife de la especie *Pristimantis colodactylus*



Anexo 7. Jackknife de la especie *Pristimantis orcesi*

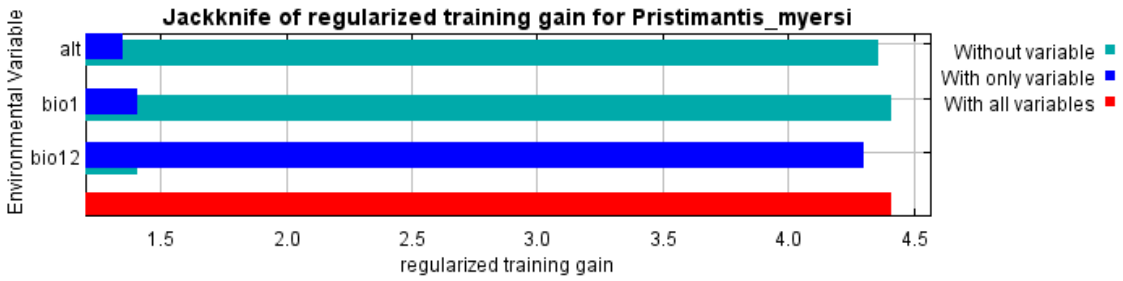


Anexo 8. Jackknife de la especie *Pristimantis percultus*

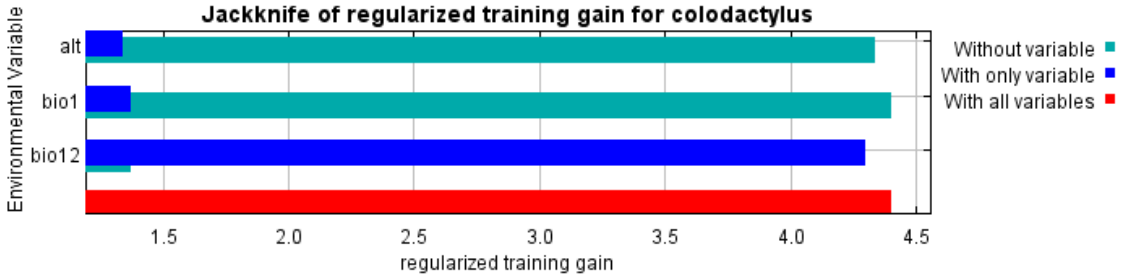


Jackknife de la distribución potencial futura de las especies para al año 2050, bajo el escenario RCP 8.5

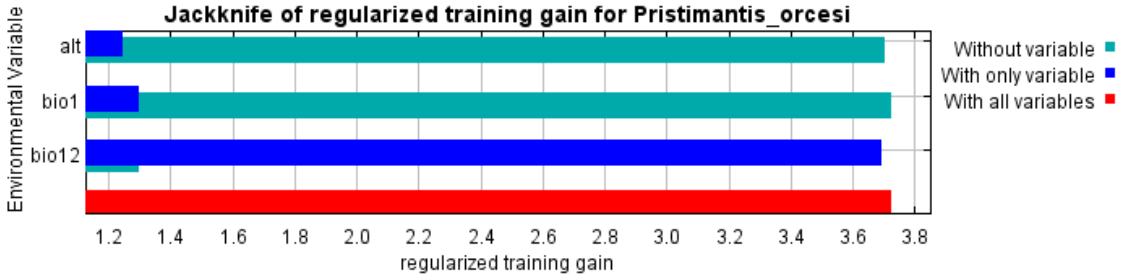
Anexo 9. Jackknife de la especie *Pristimantis myersi*



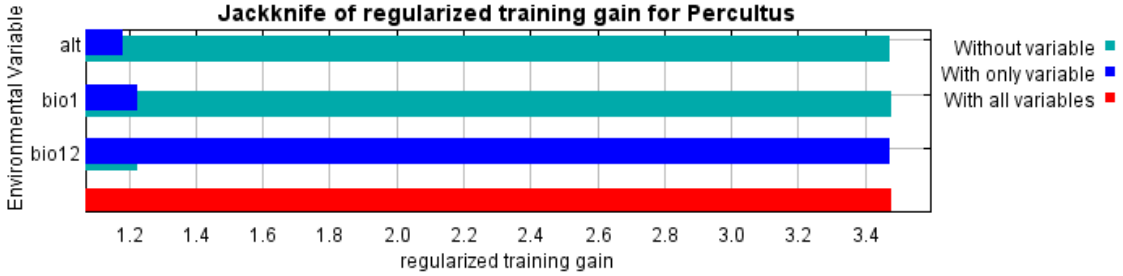
Anexo 10. Jackknife de la especie *Pristimantis colodactylus*



Anexo 11. Jackknife de la especie *Pristimantis orcesi*



Anexo 12. Jackknife de la especie *Pristimantis percultus*



Anexo 13. Base de datos de presencias (Salinas y Veintimilla, 2010)

Sp	Clase	Orden	Familia	Genero/especie	Localidad	Coordenadas UTM		Coordenadas Decimales	
						Longitud	Latitud	Longitud	Latitud
Sp1	Amphibia	Anura	Strabomantidae	*Pristimantis myersi*	PNP, Cajanuma	704040	9544811	-79,16195	-4,11604
Sp1	Amphibia	Anura	Strabomantidae	*Pristimantis myersi*	PNP, Cajanuma	704062	9544781	-79,16175	-4,11631
Sp1	Amphibia	Anura	Strabomantidae	*Pristimantis myersi*	PNP, Cajanuma	703985	9544917	-79,16245	-4,11508
Sp1	Amphibia	Anura	Strabomantidae	*Pristimantis myersi*	PNP, Cajanuma	703955	9545040	-79,16272	-4,11397
Sp1	Amphibia	Anura	Strabomantidae	*Pristimantis myersi*	PNP, Cajanuma	704013	9545530	-79,16221	-4,10954
Sp1	Amphibia	Anura	Strabomantidae	*Pristimantis myersi*	PNP, Cajanuma	703975	9545068	-79,16254	-4,11372
Sp1	Amphibia	Anura	Strabomantidae	*Pristimantis myersi*	PNP, Cajanuma	704054	9545688	-79,16184	-4,10811
Sp1	Amphibia	Anura	Strabomantidae	*Pristimantis myersi*	PNP, Cajanuma	704045	9545656	-79,16192	-4,10840
Sp1	Amphibia	Anura	Strabomantidae	*Pristimantis myersi*	PNP, Cajanuma	704056	9545731	-79,16182	-4,10772
Sp1	Amphibia	Anura	Strabomantidae	*Pristimantis myersi*	PNP, Cajanuma	704069	9545784	-79,16171	-4,10724
Sp1	Amphibia	Anura	Strabomantidae	*Pristimantis myersi*	PNP, Cajanuma	704052	9545830	-79,16186	-4,10683
Sp1	Amphibia	Anura	Strabomantidae	*Pristimantis myersi*	PNP, Cajanuma	704078	9546057	-79,16163	-4,10477
Sp1	Amphibia	Anura	Strabomantidae	*Pristimantis myersi*	PNP, Cajanuma	704093	9545930	-79,16149	-4,10592
Sp1	Amphibia	Anura	Strabomantidae	*Pristimantis myersi*	PNP, Cajanuma	704041	9545894	-79,16196	-4,10625
Sp1	Amphibia	Anura	Strabomantidae	*Pristimantis myersi*	PNP, Cajanuma	704167	9547089	-79,16085	-4,09544
Sp1	Amphibia	Anura	Strabomantidae	*Pristimantis myersi*	PNP, Cajanuma	704136	9546109	-79,16111	-4,10430
Sp1	Amphibia	Anura	Strabomantidae	*Pristimantis myersi*	PNP, Cajanuma	704176	9547034	-79,16077	-4,09594
Sp1	Amphibia	Anura	Strabomantidae	*Pristimantis myersi*	PNP, Cajanuma	704180	9546298	-79,16072	-4,10259
Sp2	Amphibia	Anura	Strabomantidae	*Pristimantis colodactylus*	PNP, Cajanuma	703953	9545022	-79,16274	-4,11413
Sp2	Amphibia	Anura	Strabomantidae	*Pristimantis colodactylus*	PNP, Cajanuma	704046	9545691	-79,16191	-4,10808
Sp2	Amphibia	Anura	Strabomantidae	*Pristimantis colodactylus*	PNP, Cajanuma	704055	9545730	-79,16183	-4,10773

Anexo 13… Continuación

Sp2	Amphibia	Anura	Strabomantidae	*Pristimantis colodactylus*	PNP, Cajanuma	704037	9545660	-79,16199	-4,10836
Sp2	Amphibia	Anura	Strabomantidae	*Pristimantis colodactylus*	PNP, Cajanuma	704136	9546108	-79,16111	-4,10431
Sp2	Amphibia	Anura	Strabomantidae	*Pristimantis colodactylus*	PNP, Cajanuma	704191	9546457	-79,16062	-4,10115
SP3	Amphibia	Anura	Strabomantidae	*Pristimantis orcesi*	PNP, Cajanuma	704089	9544740	-79,16151	-4,11668
Sp3	Amphibia	Anura	Strabomantidae	*Pristimantis orcesi*	PNP, Cajanuma	704059	9544780	-79,16178	-4,11632
SP3	Amphibia	Anura	Strabomantidae	*Pristimantis orcesi*	PNP, Cajanuma	704026	9544841	-79,16207	-4,11577
SP3	Amphibia	Anura	Strabomantidae	*Pristimantis orcesi*	PNP, Cajanuma	704017	9544883	-79,16216	-4,11539
SP3	Amphibia	Anura	Strabomantidae	*Pristimantis orcesi*	PNP, Cajanuma	704014	9544886	-79,16218	-4,11536
SP3	Amphibia	Anura	Strabomantidae	*Pristimantis orcesi*	PNP, Cajanuma	703985	9545117	-79,16245	-4,11328
SP3	Amphibia	Anura	Strabomantidae	*Pristimantis orcesi*	PNP, Cajanuma	703971	9545149	-79,16258	-4,11299
SP3	Amphibia	Anura	Strabomantidae	*Pristimantis orcesi*	PNP, Cajanuma	704006	9545271	-79,16226	-4,11188
SP3	Amphibia	Anura	Strabomantidae	*Pristimantis orcesi*	PNP, Cajanuma	703997	9545453	-79,16235	-4,11024
SP3	Amphibia	Anura	Strabomantidae	*Pristimantis orcesi*	PNP, Cajanuma	704028	9545553	-79,16207	-4,10933
SP3	Amphibia	Anura	Strabomantidae	*Pristimantis orcesi*	PNP, Cajanuma	704041	9545659	-79,16196	-4,10837
SP3	Amphibia	Anura	Strabomantidae	*Pristimantis orcesi*	PNP, Cajanuma	704043	9545727	-79,16194	-4,10776
SP3	Amphibia	Anura	Strabomantidae	*Pristimantis orcesi*	PNP, Cajanuma	704086	9545788	-79,16155	-4,10721
SP3	Amphibia	Anura	Strabomantidae	*Pristimantis orcesi*	PNP, Cajanuma	704052	9545832	-79,16186	-4,10681
SP3	Amphibia	Anura	Strabomantidae	*Pristimantis orcesi*	PNP, Cajanuma	704075	9546058	-79,16166	-4,10476
SP3	Amphibia	Anura	Strabomantidae	*Pristimantis orcesi*	PNP, Cajanuma	704099	9545913	-79,16144	-4,10608
SP3	Amphibia	Anura	Strabomantidae	*Pristimantis orcesi*	PNP, Cajanuma	704172	9547048	-79,16081	-4,09581
SP3	Amphibia	Anura	Strabomantidae	*Pristimantis orcesi*	PNP, Cajanuma	704169	9547015	-79,16083	-4,09611
SP3	Amphibia	Anura	Strabomantidae	*Pristimantis orcesi*	PNP, Cajanuma	704157	9547085	-79,16094	-4,09548
SP3	Amphibia	Anura	Strabomantidae	*Pristimantis orcesi*	PNP, Cajanuma	704218	9546112	-79,16037	-4,10427

Anexo 13… Continuación

Sp4	Amphibia	Anura	Strabomantidae	*Pristimantis percultus*	PNP, Cajanuma	704081	9544729	-79,16158	-4,11678
Sp4	Amphibia	Anura	Strabomantidae	*Pristimantis percultus*	PNP, Cajanuma	704004	9544897	-79,16227	-4,11526
Sp4	Amphibia	Anura	Strabomantidae	*Pristimantis percultus*	PNP, Cajanuma	704014	9545535	-79,1622	-4,10949
Sp4	Amphibia	Anura	Strabomantidae	*Pristimantis percultus*	PNP, Cajanuma	703995	9545502	-79,16237	-4,10979
Sp4	Amphibia	Anura	Strabomantidae	*Pristimantis percultus*	PNP, Cajanuma	704021	9545546	-79,16213	-4,1094
Sp4	Amphibia	Anura	Strabomantidae	*Pristimantis percultus*	PNP, Cajanuma	704026	9545564	-79,16209	-4,10923
Sp4	Amphibia	Anura	Strabomantidae	*Pristimantis percultus*	PNP, Cajanuma	704171	9547056	-79,16082	-4,09574