



**UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
ESPE**

CARRERA DE INGENIERÍA GEOGRÁFICA Y DEL MEDIO AMBIENTE

**PROYECTO DE GRADO PARA LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE
INGENIERO GEÓGRAFO Y DEL MEDIO AMBIENTE**

**Modelamiento del Hábitat Potencial Actual y Futuro del
Zamarrito Pechinegro *Eriocnemis nigrivestis*
(Bourcier & Mulsant, 1852) en la Sierra Norte del Ecuador**

Realizado por
Marlon Fernando Espíndola Merino

Dirigido por
Dr. Modesto Correoso e Ing. Alexander Robayo

Sangolquí – Ecuador

Noviembre - 2013



Foto de Portada: Cupuerán F., Aves y Conservación 2009 - **Zamarrito Pechinegro**
Eriocnemis nigrivestis

CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente Proyecto de Grado titulado “**MODELAMIENTO DEL HÁBITAT POTENCIAL ACTUAL Y FUTURO DEL ZAMARRITO PECHINEGRO *Eriocnemis nigrivestis* (Bourcier & Mulsant, 1852) EN LA SIERRA NORTE DEL ECUADOR CONTINENTAL**”, fue elaborado en su totalidad por el Sr. Fernando Espíndola Merino, como requerimiento previo a la obtención del Título de INGENIERO GEÓGRAFO Y DEL MEDIO AMBIENTE, bajo la dirección de:

Dr. Modesto Correoso
DIRECTOR

Ing. Alexander Robayo
COORDIRECTOR

Sangolquí, Noviembre del 2013

AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD

Yo, Marlon Fernando Espíndola Merino

Declaro que:

El proyecto de grado denominado “**MODELAMIENTO DEL HÁBITAT POTENCIAL ACTUAL Y FUTURO DEL ZAMARRITO PECHINEGRO *Eriocnemis nigrivestis* (Bourcier & Mulsant, 1852) EN LA SIERRA NORTE DEL ECUADOR CONTINENTAL**”, ha sido desarrollado en base a una investigación exhaustiva, respetando derechos intelectuales de terceros, conforme las citas que constan en el desarrollo del texto, cuyas fuentes se incorporan en la bibliografía.

Consecuentemente este trabajo es de mi autoría.

En virtud de esta declaración, me responsabilizo del contenido, veracidad y alcance científico del proyecto de grado en mención.

Sangolquí, 15 de noviembre de 2013

Marlon Fernando Espíndola Merino

AUTORIZACIÓN

Yo, Marlon Fernando Espíndola Merino

Autorizo a la Universidad de las Fuerzas Armadas la publicación, en la biblioteca virtual de la institución del trabajo “**MODELAMIENTO DEL HÁBITAT POTENCIAL ACTUAL Y FUTURO DEL ZAMARRITO PECHINEGRO *Eriocnemis nigrivestis* (Bourcier & Mulsant, 1852) EN LA SIERRA NORTE DEL ECUADOR CONTINENTAL**”, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi exclusiva responsabilidad y autoría.

Sangolquí, 15 de noviembre de 2013

Marlon Fernando Espíndola Merino

DEDICATORIA

Esta tesis va dedicada a mis padres, y en especial a Adri y a mi hijo Julián.

Marlon Fernando Espíndola Merino

AGRADECIMIENTO

Un inmenso gracias al equipo de AVES y CONSERVACIÓN: Tatiana, Esteban, David, Olaf.

Un agradecimiento especial a los directores de esta tesis: Dr. Modesto Correoso e Ing. Alexander Robayo.

Y un gracias de corazón a la Ing. Blanca Chávez.

Marlon Fernando Espíndola Merino

ÍNDICE DE CONTENIDO

ABSTRACT	VIII
RESUMEN.....	X
CAPITULO 1: ANTECEDENTES.....	2
1.1. ANTECEDENTES	2
1.2. IMPORTANCIA (JUSTIFICACIÓN).....	3
1.3. OBJETIVO PRINCIPAL	7
1.4. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	7
1.5. METAS	7
1.6. ALCANCE	8
CAPITULO 2: MARCO TEÓRICO Y CONCEPTUAL	9
2.1. MARCO TEÓRICO.....	9
2.2. MARCO INSTITUCIONAL	13
2.3. MARCO CONCEPTUAL	15
2.4. EL HABITAD, DEFINICIONES E IMPORTANCIA.....	16
2.5. DEFINICIONES E IMPORTANCIA DE REALIZAR LOS MODELOS DEL HABITAD.....	19
2.6. LOS SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA (SIG) EN EL MODELAMIENTO DEL HABITAD	20
2.7. MODELOS DE PREDICCIÓN.....	22
CAPITULO 3: ASPECTOS GENERALES.....	25
3.1 UBICACIÓN.....	25
3.2 ÁREA DE ESTUDIO	25
3.3 ASPECTOS GENERALES BIOGEOGRÁFICOS.....	27
3.3.1 ASPECTOS FÍSICOS	27
3.3.2 ASPECTOS BIOLÓGICOS.....	30
3.4 DESCRIPCIÓN DE LA ESPECIE	34
3.4.1 CLASIFICACIÓN CIENTÍFICA	35
3.4.2 DISTRIBUCIÓN BIOGEOGRÁFICA	36

3.4.3	ALIMENTACIÓN DEL <i>Eriocnemis nigrevestis</i> (Bourcier & Mulsant, 1852)	38
CAPITULO 4: METODOLOGÍA		42
4.1	RECOPIACIÓN DE DATOS	42
4.1.1	REGISTROS DE LA ESPECIE.....	42
4.1	ESTRUCTURACIÓN DE LA INFORMACIÓN	43
4.2.1	PREPARACIÓN DE LOS INSUMOS PARA SIG.....	43
4.2.2	INFORMACIÓN CARTOGRÁFICA.....	45
4.2	ANÁLISIS CON LOS MODELOS DE DISTRIBUCIÓN DE HÁBITAT DE LA ESPECIE	48
4.3.1	VARIABLES USADAS EN EL MODELADO	50
4.3.2	DETERMINACIÓN DE LA MUESTRA	52
4.2.2	FASES DEL MODELADO.....	54
4.2.3	EJECUCIÓN DE LOS MODELOS	56
CAPITULO 5: ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS.....		58
5.1	MODELADO DE DISTRIBUCIÓN PRESENTE DE LA ESPECIE.....	58
5.2	VERIFICACION EN EL CAMPO	69
5.3	MODELADO DE DISTRIBUCIÓN FUTURA DE LA ESPECIE.....	70
CAPITULO 6: DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES.....		73
6.1	ANÁLISIS DE LA METODOLOGÍA	73
6.2	ANÁLISIS DE LOS MODELOS.....	74
6.3	ANÁLISIS DE LA SITUACIÓN ACTUAL DEL HABITAT DE LA ESPECIE.....	75
BIBLIOGRAFÍA		77
ANEXOS		80
Anexos 1. Tabla de superficies de la distribución potencial del hábitat del zamarrillo pechinegro vs bosques protectores en la zona de estudio.		80

INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Selección de variables.....	49
Tabla 2. Variables seleccionadas.....	54
Tabla 3. Puntos de coordenadas donde se ha observado al colibrí.....	56
Tabla 4. Parámetros de los modelos seleccionados.....	58
Tabla 5. Tabla comparativa de predicciones de los modelos.....	62
Tabla 6. Superficies de predicción.....	63
Tabla 7. Distribución potencial del hábitat vs mapa de formaciones vegetales en la zona de estudio	
Tabla 8. Superficies del PANE en el área de estudio.....	67
Tabla 9. Áreas de distribución potencial del zamarrito pechinegro vs el PANE en la zona de estudio.....	68
Tabla 10. Áreas de distribución potencial del zamarrito pechinegro en los bosques protectores de la zona de estudio.....	69
Tabla 11. Superficies de la distribución potencial del hábitat del zamarrito pechinegro en las áreas protegidas.....	70
Tabla 12. Comparación de superficies de predicciones futuras en la zona de estudio.....	74

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Ubicación de áreas importantes para la conservación de Aves en el Ecuador IBAs	4
Figura 2. <i>Eriocnemis nigrivestis</i> – Cupuerán F., Aves y Conservación 2009.....	5
Figura 3. Elementos de un MDE en secuencia lógica.....	13
Figura 4. Área de Estudio & Límite Sierra del Ecuador.....	28
Figura 5. Mapa de Clima.....	31
Figura 6. Mapa de Ecosistemas de los Andes del Norte y Centrales. Bolivia, Colombia, Ecuador, Perú y Venezuela	33
Figura 7. Flancos occidentales del Volcán Guagua Pichincha, Andes Ecuador...	34
Figura 8. Mapa de Formaciones Vegetales.....	35
Figura 9. Zamarrito Pechinegro – <i>Eriocnemis nigrivestis</i>	37
Figura 10. Mapa de distribución biogeográfica.....	39
Figura 11. <i>Palicourea amenthystina</i>	42
Figura 12. <i>Heppiela repens</i> Hanst.....	42
Figura 13. <i>Brachyotum gleasonii</i> Wurdack.....	42
Figura 14. <i>Centropogon erianthus</i>	42
Figura 15. Modelo del procesamiento de variables GLOBALES.....	51
Figura 16. Gráfico de ejecución del modelo.....	60
Figura 17. Mapa de predicciones con los diferentes modelos.....	64
Figura 18. Mapa de distribución potencial y áreas protegidas.....	71
Figura 19. <i>Eriocnemis nigrivestis</i>	73
Figura 20. Mapa de predicciones para los años 2025, 2050 y 2080.....	75

RESUMEN

El objetivo de este proyecto fue modelar la distribución del hábitat potencial del Zamarrillo Pechinegro *Eriocnemis nigrivestis* (Bourcier & Mulsant, 1852). El área de estudio se ubica en la Sierra Norte del Ecuador. Ésta conlleva las provincias de Carchi, Imbabura, Pichincha y Cotopaxi de norte a sur; y limita de este a oeste con la Cordillera Oriental y la Cordillera Occidental. El *Eriocnemis nigrivestis* (Bourcier & Mulsant, 1852) es considerada una especie en peligro de extinción, ante ello es clave entender la distribución potencial del hábitat de esta especie para desarrollar estrategias de conservación en este territorio. Estas medidas contribuirían a mantener un símbolo cultural, ya que esta ave es considerada como especie emblemática del Distrito Metropolitano de Quito. Este proyecto consideró tres modelos cartográficos de distribución de hábitat, los cuales son el BIOCLIM, Maxent y GARP. Este análisis se realizó para identificar y cruzar las áreas comunes de predicción de hábitat que arrojan los tres modelos y determinar, donde, en los remanentes de bosque el ave potencialmente habita. Esta cobertura se traslapó con la cobertura del sistema nacional de áreas protegidas y otros mecanismos de conservación, espacialmente distribuidos para localizar los sitios donde es necesario diseñar e implementar actividades dirigidas al manejo y preservación del hábitat. El análisis final muestra que un gran porcentaje del hábitat del colibrí ya se distribuye dentro de áreas con algún nivel de manejo; y que uno de los sitios más importantes para la protección de este hábitat está en la Cordillera del Toisán.

Palabras clave:

- Distribución del hábitat
- Nicho ecológico
- Modelo cartográfico
- Bioinformática

ABSTRACT

This graduation project aims to model the potential habitat distribution of the Zamarrito Pechinegro *Eriocnemis nigrivestis* (Bourcier & Mulsant, 1852). The study area is located at the north highlands of Ecuador. This entails the Carchi, Imbabura, Pichincha, and Cotopaxi provinces from north to south; and it is between the East Ridge and the West Ridge, from east to west. The *Eriocnemis nigrivestis* is an endangered species; therefore it is determinant to understand this species's potential habitat location in order to develop conservation strategies on this territory. In addition, this kind of measurements will contribute to maintain a cultural symbol, since this bird is considered the emblematic bird species of the Quito's Metropolitan District. Furthermore, this project has considered three habitat cartographic models, which are BioClim, Maxent y GARP, to analyze the species's habitat distribution. This analysis has been done to identify and overlap the three models common prediction areas in order to determinate, where, at forest remnants, the bird would potentially stay. This output layer has been overlapped with the protected areas national system layer, and other diverse spatially distributed conservation mechanisms to estimate and locate the places where it is needed to design and implement activities addressed to this habitat's management and preservation. The final analysis shows that the main percentage of the bird's habitat is already considered in areas with some levels of management; and one of the most important places for this habitat protection is located at the Toisan Ridge.

Key words:

- Habitat distribution
- ecologic niche
- cartographic model
- bioinformatics

MODELAMIENTO DEL HÁBITAT POTENCIAL ACTUAL Y FUTURO DEL
ZAMARRITO PECHINEGRO (*Eriocnemis Nigrevestis*) EN LA SIERRA NORTE
DEL ECUADOR CONTINENTAL

La disminución del hábitat natural de las especies y su desaparición ha llegado a ser uno de los conflictos ambientales de mayor importancia, ante el cual se enfrenta la humanidad en esta época (Wilson 1988). Contar con la evidencia científica para manejar el problema es vital. Por ello se hace necesario identificar las zonas potenciales de distribución de las especies, y en el futuro inmediato, validar la presencia de éstas, enfocándose hacia la realización de planes de conservación de sus hábitats.

En gran medida, el medio abiótico está en constante transformación, ya que factores climáticos lo modifican. Al ser las especies relativamente rígidas en lo relacionado a sus características, y necesidades para adaptarse, el comportamiento más eficaz que las especies adoptarían ante factores cambiantes, es que su distribución biogeográfica se modifique en busca de acoplarse a nuevas condiciones (Lobo s/a).

El zamarrito pechinegro, un colibrí declarado ave emblemática de la ciudad de Quito, no es la excepción expuesta a este riesgo, y se cuenta entre las especies bajo presión por la pérdida de su hábitat. El calentamiento global podría ser un factor que en el futuro limite la supervivencia del colibrí (Jahn, Olaf & Santander 2008), entonces, es importante identificar las áreas de su distribución potencial, para implementar un sistema de monitoreo adecuado para la especie que promueva su supervivencia. Ante ello, se requiere conocer las áreas que reúnan las características potenciales para la presencia de la especie.

CAPITULO 1: Antecedentes

1.1. ANTECEDENTES

El Zamarrito Pechinegro *Eriocnemis nigrivestis* (Bourcier & Mulsant, 1852) es un colibrí endémico de Ecuador que se considera críticamente amenazado a nivel global, debido a su rango de distribución restringido y pequeño tamaño poblacional, BirdLife International (2000-2007) en Jahn (2008). Se limita a los centros de endemismo del Páramo de los Andes Centrales y Laderas Inter-andinas y Valles, donde se lo encuentra habitando los bosques alto andinos montanos en dos volcanes aislados y una cordillera al noroccidente de Ecuador (Jahn, Olaf et al. 2008).

En las áreas de hábitat potencial de la especie, por observaciones, se presentan amenazas latentes que ponen en riesgo la conservación de la especie. Entre estas tenemos la tala de bosque, para extraer madera y hacer carbón, y la expansión de la frontera agropecuaria. Además la construcción de infraestructura como la del Oleoducto de Crudos Pesados, afectó parte de su hábitat en el Cerro Chiquilpe, sitio conocido de registro (Jahn, Olaf & Santander 2008). Sin dejar de ser más grave, el calentamiento global podría ser un factor que en el futuro límite la supervivencia de la especie, además que su hábitat en la parte más alta de su rango altitudinal ha sido destruido casi en su totalidad. En la actualidad, grandes extensiones de páramo herbáceo representan un tipo de vegetación no habitable. Por lo tanto, la restauración de la vegetación leñosa nativa en la parte alta del rango altitudinal histórico de la especie es una prioridad de conservación, adicional a la protección del hábitat

remanente para la especie por debajo de la línea arbórea (Jahn, Olaf & Santander 2008). Más detalles sobre la descripción de la especie y su distribución se encuentran en el Capítulo 3 de esta tesis.

1.2. IMPORTANCIA (JUSTIFICACIÓN)

A nivel nacional, Ecuador cuenta con 107 IBAs (Important Bird Areas) – Fig. 1- , las cuales se hallan parcialmente consideradas dentro del Sistema Nacional de Áreas Protegidas del país, y dentro de otras formas de protección. Entre estas otras formas se encuentran los sitios Ramsar, bosques protectores, reservas comunales, reservas de la Biósfera, y territorios indígenas. Sin embargo 22 IBAs no cuentan con ningún tipo de protección. En general, en la zona continental, estas áreas de importancia para la conservación de las aves están amenazadas por la expansión e intensificación de las actividades agropecuarias, la tala selectiva, la quema, y por la explotación no renovable de los recursos naturales. Además de otras presiones como el turismo no regulado, la cacería y el tráfico de especies, sin descartar potenciales amenazas como la explotación minera a cielo abierto, y el desarrollo de industrias como la palma (Santander, Freire & Loor-Vela 2009).

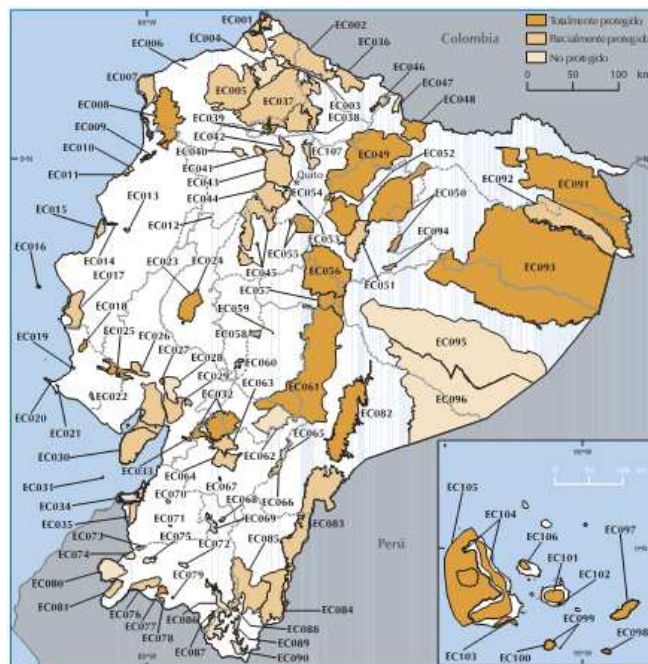


Fig. 1. Ubicación de áreas importantes para la conservación de Aves en el Ecuador IBAs (Tomado de Santander T (2009))

A la par, se considera que los niveles más altos de diversidad biológica se encuentra en los países tropicales, y la tasa de pérdida de ésta a aumentado a velocidades preocupantes en los últimos cincuenta años (Primack et al. 2001 en Naoki et al. 2006). Ante estas realidades es inminente la necesidad de contar con evidencias claras sobre las tendencias de distribución de especies importantes, para tomar medidas enfocadas en manejar y proteger zonas claves para la conservación de éstas y otras especies.

En este contexto se consideran además otros beneficios derivados, en los cuales las poblaciones locales hallan provecho. Así, se identifica al aviturismo como una actividad económica integradora y ambientalmente sostenible, siempre y cuando se encuentre regulada. Ésta existe por el interés de mucha gente en observar a las aves, y es una herramienta que incentiva la comprensión de la ecología del paisaje, como la conservación de las áreas naturales por parte de las comunidades locales. La

experiencia en trabajos de conservación, con la participación de los guías nativos en el Ecuador tiene enorme éxito, por la gran simpatía de los turistas hacia estas iniciativas, como de las instituciones que las apoyan, y por el fortalecimiento de las pequeñas economías.

La participación de las comunidades locales, se percibe, conlleva una relación simbiótica entre la población y su ambiente. Como ejemplo, es evidente el interés de la gente que habita las laderas noroccidentales del Pichincha por la conservación de la especie. Son justamente estos grupos quienes juegan un rol clave como actores directos en la ejecución de medidas de conservación del ave y su hábitat. A la vez, un paisaje conservado con presencia de especies únicas es un requisito indispensable en el desarrollo de actividades sostenibles como el turismo de aves, que atrae importantes réditos económicos a la población.



Fig. 2. *Eriocnemis nigrivestis* – Cupuerán F., Aves y Conservación 2009. Foto: Fabián Cupuerán

Más allá de lo expuesto, el Zamarrito Pechinegro – Fig. 2, - es un ave de reconocida relevancia en los ámbitos cultural y ecológico en la región sierra norte del Ecuador, especialmente en la provincia de Pichincha.

En lo referente a lo cultural, el Zamarrito Pechinegro fue declarado por el Distrito Metropolitano de Quito (DMQ) como su Ave Emblemática (Carrión 2005), ya que dicha especie vive en el territorio del DMQ, en los bosques andinos de las laderas noroccidentales del volcán Pichincha. Este hecho lleva como trasfondo el

fortalecimiento de la identidad de la población con su distrito, y el involucramiento de la misma con la conservación. Adicionalmente, envuelve una creencia simbólica de lo espiritual, sublime y fugaz. Se reconoce la importancia de esta especie para dicha nominación debido a su condición de especie en peligro de extinción, lo cual promueve esfuerzos para su protección.

En el plano ecológico, el Zamarrito Pechinegr se destaca por ser una ave endémica en peligro crítico que habita en las zonas de Yanacocha y Alaspungo en la IBA¹ de Mindo y Estribaciones Occidentales del Volcán Pichincha (EC043). Se considera una especie de ave amenazada, y se asevera que la especie ha sido redescubierta, ya que no se había registrado desde hace 100 años (Santander, Freire & Loor-Vela 2009).

Consecuentemente, con este proyecto se pretende identificar las áreas potenciales de intervención para actividades diversas de conservación, que permitan fortalecer la red nacional de IBAs y especialmente que aseguren en medida de lo posible la protección del hábitat del colibrí en cuestión. Además conlleva la identificación de zonas apropiadas para el desarrollo de iniciativas en lo referente a corredores biológicos, bosques protectores, áreas de recuperación y restauración, y lo más importante, avanzar más allá de la conservación de los bosques. Es decir, se pretende además que las instituciones que apoyan actividades paralelas utilicen esta información espacial y la difundan entre la población local, quienes, como actores directos de la preservación del medio ambiente, podrán contar con herramientas prácticas necesarias para la planificación de medidas específicas.

¹ Áreas Importantes para las Aves o Important Bird Areas

1.3. OBJETIVO PRINCIPAL

Modelar la distribución del hábitat potencial presente y futuro del Zamarrito Pechinegro (*Eriocnemis nigrivestis*) en la sierra norte de la cordillera occidental del Ecuador.

1.4. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Seleccionar los modelos predictivos de distribución de especies idóneos para modelar el hábitat del Zamarrito Pechinegro.
- Determinar las variables biogeográficas que permitan modelar la distribución del hábitat de la especie.
- Procesar las diferentes variables biogeográficas a ser utilizadas por los modelos predictivos de distribución del hábitat de la especie, para el año 2006 y los años 2025, 2050 y 2080.

1.5. METAS

- Mapa de la distribución potencial del hábitat presente del Zamarrito Pechinegro en la Sierra Norte del Ecuador; escala de trabajo 1: 100000.
- Mapas de distribución potencial de la especie para los años 2025, 2050 y 2080; escala de trabajo 1:100000.

- Tabla comparativa entre los modelos predictivos utilizados en el desarrollo del trabajo.

1.6. ALCANCE

Este proyecto pretende aportar con una herramienta práctica, como es la distribución espacial potencial del hábitat del Zamarrillo Pechinegro en el presente y las proyecciones de la misma para los años 2025, 2050 y 2080. Dicha herramienta es el resultado de un análisis integral de variables georreferenciadas que determinan el hábitat de la especie en función de las dinámicas climáticas y biofísicas de los indicadores seleccionados. En la construcción de los escenarios futuros, juegan un papel esencial las predicciones del clima en cuanto a variabilidad de temperatura y precipitación, datos disponibles acorde al análisis del WorldClim². Tanto la distribución potencial en tiempo presente de la especie, como las distribuciones potenciales futuras son representadas en mapas que cubren toda la zona de estudio propuesta. Una vez identificado el hábitat de la especie y las tendencias de reducción del mismo, se llega a contar con una herramienta decisiva para canalizar esfuerzos bien enfocados en la protección del hábitat, y la toma de medidas para la mitigación en la reducción del mismo.

² Conjunto de mapas climáticos globales

CAPITULO 2: Marco teórico y conceptual

2.1. MARCO TEÓRICO

La introducción a las teorías exploradas en el campo del modelamiento de hábitat se presenta en los siguientes ítems:

Ecoinformática

Es un área de trabajo relativamente reciente, que fusiona ecología y tecnologías de la información computarizada. Intenta facilitar la investigación del medio natural, desarrollando bases de datos de información ambiental y métodos de acceso, así como nuevos algoritmos que permiten combinar hipótesis ecológicas y realizar simulaciones y pronósticos (Hale y Hollister 2009 en Blas 2009).

El objetivo es doble: incrementar el conocimiento científico del medio y apoyar la toma de decisiones en relación a cuestiones tan importantes como la sostenibilidad ecológica, biodiversidad y cambio global. (Blas 2009).

Informática de la Biodiversidad

Según Soberón y Peterson (2004) en Blas (2009), una de las áreas más desarrolladas de la ecoinformática es la informática de la biodiversidad, que se define como la aplicación de las tecnologías de información a la gestión, exploración algorítmica, análisis e interpretación de grandes cantidades de datos primarios relativos a la vida, particularmente a nivel de especie.

Los mismos autores citan a los modelos de distribución como las herramientas fundamentales de esta disciplina, y que se están aplicando con éxito en distintos campos, como la exploración de la biodiversidad, y el diseño de áreas protegidas (Chen & Peterson 2002), entre otras.

Modelamiento de distribución de especies (MDE)

Esta tesis se basa principalmente en la teoría conceptual del modelamiento de distribución de especies, y conlleva una teoría funcional que es la tecnología de la información georeferenciada.

Un modelo de distribución de especies se puede definir como “una construcción numérica que define en el espacio ecológico las relaciones que existen entre la presencia de una especie y los valores de variables ambientales con influencia en su distribución” (Blas 2009). El resultado muestra la idoneidad del hábitat o la probabilidad de presencia de la especie.

Con este punto de vista, se intenta entender la distribución espacial de las especies de acuerdo a su relación con variables geo-físicas predictivas en dicha distribución. Se requiere especial atención en la selección de las variables ambientales que mejor se ajustan a predecir la distribución de cada especie, de lo contrario el modelo podría resultar con una baja capacidad predictiva (Elith & Leathwick 2009b).

Se identifican cinco elementos a considerar en el MDE; registros de la presencia de la especie, variables ambientales almacenadas como mapas digitales, un algoritmo que analiza la relación entre ambas entradas, un modelo definido en el espacio ecológico, y la representación geográfica del resultado en forma de mapa (Blas 2009). Ver Fig. 3.

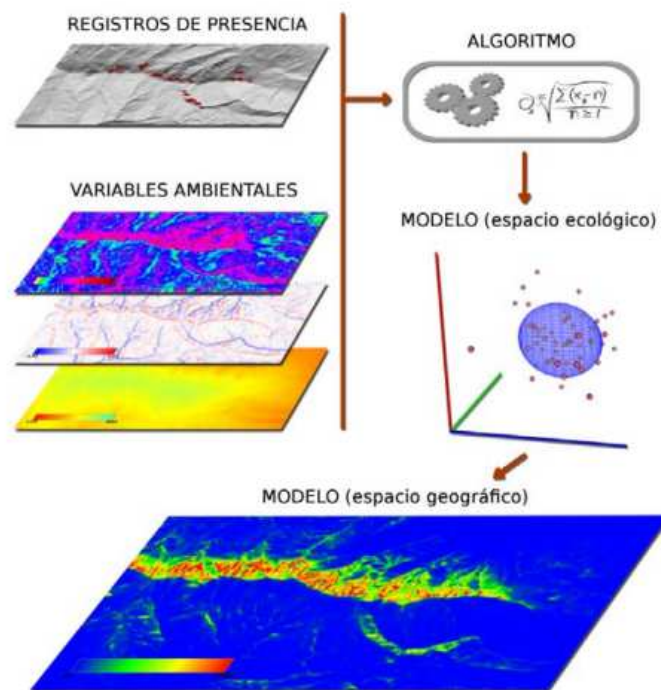


Fig. 3. Elementos de un MDE en secuencia lógica (Tomado de Blas (2009))

De acuerdo a Elith y Leathwick (2009b), el modelamiento de distribución de especies resulta de la convergencia entre métodos ecológicos para entender las asociaciones entre especies y hábitat explorados por estudiosos de las ciencias biológicas; y por otro lado el rápido desarrollo de métodos para espacializar características geofísicas del ambiente como son nuevos datos, y sistemas de información.

En años recientes, el MDE, ha llegado a ser cada vez más una importante herramienta para abordar diversas cuestiones en ecología, biogeografía, evolución y, más recientemente, en biología de la conservación y cambio climático (Guisan & Thuiller 2005).

Distribución potencial

Un modelo de distribución de especies establece una distribución potencial de la especie, la cual se distribuye en función de la distribución de las características biofísicas en las cuales se ha observado la especie en la realidad. En sí, el modelamiento se desarrolla a partir de registros de presencia de las especies y variables ambientales (topografía, clima, usos de suelo) (Blas 2009). El modelo apoya la toma de decisiones que direccionen esfuerzos de conservación, mientras existan las condiciones para realizar un estudio más intensivo y de largo plazo (Naoki et al. 2006).

Para realizar un modelo de distribución potencial de una especie, se puede trabajar con datos primarios o secundarios. Los datos primarios se obtienen de

colecciones científicas o publicaciones, y se constituyen como los sitios de colecta u observación de la especie de interés. Mientras que los datos secundarios constituyen la información obtenida de sensores remotos; sean éstas de clima, topografía o medio ambiente, del área donde se quiere representar la distribución de la especie de interés (Naoki et al. 2006).

2.2. MARCO INSTITUCIONAL

La Escuela Politécnica del Ejército (ESPE) con su Carrera de Ciencias de la Tierra tiene por objeto el de formar profesionales técnicamente preparados para afrontar diversidad de retos en la rama de la Geografía científica y aplicada. La investigación se delinea como uno de los objetivos más relevantes de esta carrera, ya que se la considera como el rol predominante de las universidades de este siglo. Con ello, se busca fomentar la investigación, para lo cual esta tesis se convierte en un aporte claro para resolver enigmas en el campo de la conservación de la biodiversidad del Ecuador.

Aves & Conservación es una ONG Ecuatoriana - Birdlife en Ecuador. Su misión es la de “Aportar a la conservación de las aves, sus hábitats y la biodiversidad del Ecuador, en beneficio de la gente y con su participación activa”, y dirige su visión a liderar temas ornitológicos de una manera seria y comprometida a nivel nacional (Aves&Conservación 2011).

En el tema de estudio de aves, la institución auspiciante se destaca por una notoria trayectoria en proyectos enfocados en especies amenazadas, monitoreo y

conservación de aves, educación y difusión y propuestas de políticas para mejoramiento y protección de hábitats (Aves&Conservación 2011). La fundación, Aves & Conservación, ha realizado estudios en el nor-occidente de Pichincha, en los lugares donde se ha verificado la presencia de la especie. Entre dichas investigaciones constan evaluaciones ecológicas rápidas, la caracterización vegetal del hábitat de la especie en mención, y a el pre-diagnóstico socio-económico de la población ubicada en el área de avistamiento del colibrí, que es justamente el área de importancia para la conservación de las aves de Míndo y Estribaciones Occidentales del Volcán Pichincha. La especie al ser designada como el ave emblemática de Quito, ha generado gran interés, promoviendo esfuerzos como la realización del diagnóstico socio ambiental de la región y el Plan de Acción para la especie.

Con respecto al tema de modelamiento de hábitat de aves, el modelamiento del hábitat del Zamarrito Pechinegro se constituye como el primer aporte en este campo en el que la institución toma parte.

Aves & Conservación lleva una reconocida trayectoria en la investigación de la presencia y conservación de las aves en el Ecuador, especialmente de aquellas catalogadas como en alto riesgo de extinción. El campo de la distribución espacial del hábitat de las especies estudiadas, no se halla constantemente estudiado, ya que existen limitaciones; ya sea en cuanto a la existencia de datos sobre ocurrencia de especies o la dificultad en conseguir registros georeferenciados, o la disponibilidad constante de profesionales geógrafos que posean este conocimiento específico.

A la par, como parte de Birdlife International, Aves y Conservación ha desarrollado esfuerzos conjuntos con esta institución para identificar las principales IBAS (Important Bird Areas) existentes en el Ecuador.

2.3. MARCO CONCEPTUAL

El Zamarrito Pechinegro es una especie endémica del Ecuador, que por su tamaño poblacional y su rango de distribución restringido se considera críticamente amenazado a nivel global (BirdLife-International 2011). Su población ha sufrido una continua declinación por una permanente pérdida del hábitat del colibrí (Jahn, Olaf et al. 2008). En efecto, se asevera que los efectos del calentamiento global, afectarían la distribución del hábitat del ave, ejerciendo una visible presión sobre el mismo.

En base a Jahn et al. (2008), se presume que los movimientos migratorios del colibrí no son completamente comprendidos. Así, no se identifican restricciones de fuentes de alimentación para el ave, y se sugiere que la especie realiza migraciones altitudinales en función de los períodos de floración de algunas plantas y de la época reproductiva.

En lo referente a factores antrópicos, amenazas como la tala del bosque por madera y carbón, y la expansión de la frontera agrícola influyen sobre el hábitat del ave; además de proyectos de extracción como la construcción del Oleoducto de Crudos Pesados (OCP).

Adicionalmente, Jahn y Satander (2008) en Jahn et al. (2008) pronostica que la supervivencia de la especie podría verse seriamente limitada por el calentamiento global, ya que si no se restaura con prioridad la vegetación leñosa nativa en la parte alta del rango altitudinal histórico de la especie, ésta no tendría hacia donde migrar por la elevación de la temperatura en las zonas de hábitat menos altas.

Consecuentemente, obtener un pronóstico claro y científicamente argumentado sobre el hábitat presente y futuro del ave ante fenómenos como el cambio climático, se constituye como una herramienta estratégica clave en la preservación de la especie.

2.4. EL HABITAD, DEFINICIONES E IMPORTANCIA

En el tema de modelamiento de distribución de hábitat de especies es necesario identificar los conceptos ecológicos que sustentan los criterios de dicho modelamiento.

En primer lugar se hará referencia al concepto de nicho ecológico. El cual, de acuerdo a Hutchinson (1957), “el nicho ecológico es un hiper-volumen en un espacio ecológico multidimensional, determinado por los requerimientos de la especie para reproducirse y sobrevivir”. Además el mismo autor (1978) asevera que existen dos niveles de nicho: el nicho fundamental y el nicho efectivo, este último también llamado realizado. En el caso del primero, se lo reconoce como el espacio multidimensional donde la especie puede vivir y reproducirse junto con todas las variables ambientales (bióticas y abióticas). Mientras tanto al nicho efectivo se lo

entiende como el espacio donde otras especies compiten por los mismos recursos; el nicho efectivo es parte del nicho ecológico.

También para una correcta definición del nicho, aplicable a los modelos de distribución, es necesario tener en cuenta tres principios. Estos, de acuerdo a Soberón (2007), en Blas (2009, p. 11), se presentan en las siguientes líneas:

- 1. El concepto de nicho tratado como hábitat debe separarse del concepto de nicho tratado como función.*
- 2. Hay diferencias importantes entre los nichos definidos a escalas locales, que tienen en cuenta la ecología, comportamiento y fisiología de pequeñas poblaciones o individuos, y los nichos definidos a grandes escalas geográficas, que solo tienen en cuenta el concepto de distribución.*
- 3. Hay que separar los distintos tipos de variables que componen el nicho en al menos dos grupos: condiciones y recursos.*

De acuerdo a Araujo & Guisan (2006), la distinción de los conceptos de nicho fundamental y efectivo es de poca utilidad en el campo de los modelos de distribución.

Araujo, señala como alternativa el desechar tales conceptos, y aceptar que *cualquier caracterización del nicho es una descripción incompleta de los factores bióticos y abióticos que permiten a la especie satisfacer sus requerimientos ecológicos mínimos.*

Respecto a las dimensiones que puede llegar a tener el nicho ecológico, Blas (2009) dice que hay controversias. Cita a Brown (1984), quien indica que por razones estadísticas, el número de variables podría oscilar entre 5 y 10; ya que un número mayor de variables independientes trae consigo una menor probabilidad de encontrar a la especie en algún lugar geográfico.

En esta misma línea cita a Polechová (2009), quien señala la dificultad para describir a una especie respecto a su nicho, así como sus variables principales, debido a que sus dimensiones potencialmente pueden ser infinitas.

La dinámica del nicho ecológico es el tópico que ha influenciado la investigación y la discusión en el estudio de la distribución de las especies. Suponer que el nicho de las especies permanece sin cambios, o cambia muy lentamente en millones de años (estasis del nicho ecológico), ha dado paso a la justificación para la utilización de los modelos de predicción de distribución del hábitat de las especies a través del tiempo (Blas 2009; Pearman 2008; Wiens. J. J. 2005). De la misma manera, estos precedentes han motivado indagaciones sobre extinción de las especies, pérdida y afectaciones de la biodiversidad en un entorno de cambio climático.

Como se mencionó en párrafos anteriores el conocer las características del hábitat de la especie de interés, es esencial para seleccionar las variables espaciales predictivas de la distribución de dicha especie (Elith & Leathwick 2009b).

2.5. DEFINICIONES E IMPORTANCIA DE REALIZAR LOS MODELOS DEL HABITAD

De acuerdo a Elith y Leathwick (2009a), un modelo de distribución del hábitat de una especie abarca cualquier método que crea un mapa donde se muestra la variación geográfica en sitios idóneos para la existencia de dicha especie en particular. Para llevar a cabo el modelamiento para la predicción del hábitat de una especie, es necesario considerar las características medioambientales del posible hábitat de la especie, así como los registros de presencia de la misma.

Además el uso de variables ambientales permite mayor precisión en la predicción de sitios probables para encontrar una especie. Sin embargo la predicción de la distribución no está exenta de errores, los mismos que se conciben como errores de omisión o comisión (Elith & Leathwick 2009a).

Los modelos de distribución de hábitat de especies aparecieron como un tema de interés específico de la ecología. Los intentos iniciales por comprender estos patrones fueron relacionados a regresiones lineales múltiples y análisis de función discriminante. Posteriormente, avances significativos se dieron en el desarrollo de modelos digitales que involucraron variables geográficas físicas y sistemas de información (Blas 2009). La convergencia de estos campos de estudio dieron como resultado las técnicas modernas que usamos para el análisis de la distribución de especies (Elith & Leathwick 2009b).

2.6. LOS SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA (SIG) EN EL MODELAMIENTO DEL HABITAD

El modelamiento de distribución de especies (MDE), tal cual se lo concibe ahora, apareció cuando métodos estadísticamente experimentales sobre hábitat de especies fueron vinculados a coberturas geográficas integradas en SIG (Blas 2009).

Los sistemas de información geográfica se constituyen como una herramienta crucial para almacenar y manipular los datos espaciales, tanto de los registros de las especies, como de las variables medio ambientales. Esto exige que los datos a ser integrados en el sistema posean cualidades espaciales. En lo relacionado a registros antiguos de ocurrencia de especies es poco probable encontrarnos con datos georreferenciados, es decir no son susceptibles de espacializar o mapear.

Los sistemas de información geográfica han evolucionado la forma en que la información acerca del medio ambiente se almacena, analiza y distribuye. Con la tecnología de los SIG, se puede disponer de grandes volúmenes de información para describir la cobertura terrestre con datos sobre elementos bióticos y abióticos.

En años anteriores, la realización de modelos de predicción requería de la experticia en el manejo de variados software de SIG y estadística por parte de los investigadores; acompañado a esto la dificultad de tener al alcance las respectivas licencias y equipos de almacenamiento como la disponibilidad de datos espaciales de los factores ambientales a escala local, regional y mundial.

En la actualidad, el desarrollo del software libre permite el acceso a programas computacionales de última generación que integran distintas técnicas de pre-análisis, visualización de la información espacial, corrida de modelos con algoritmos de distinta naturaleza y el posterior mapeo y post-análisis de la eficiencia de las modelos y el aporte de las variables a la predicción.

Aunque, es necesario aprender el uso correcto de los programas y disponer a la mano de algún programa SIG para la conversión de los distintos formatos que requiere cada software como de otros análisis; esto podría traer cierto grado de dificultad a los usuarios.

Ya en el presente, se disponen de programas que integran las herramientas necesarias para cada uno de las etapas del modelado, como del acoplamiento de los distintos algoritmos en un mismo paquete; es el caso del software libre openModeler (Souza et al. 2009).

Por ahora, es imprescindible manejar a la par un sistema de información geográfica con el cual realizar otros análisis espaciales con los insumos de las predicciones y demás coberturas del paisaje; también en el campo de los SIG se tienen ahora diferentes programas de libre acceso que traen consigo más herramientas de análisis; es el caso de gvSIG, kosmo, quantum gis y grass, que están entre los más robustos y que permiten el acoplamiento de otras extensiones de código abierto aplicadas a la bioinformática.

Lo que viene en el futuro próximo y que ayudará al amplio y efectivo del uso de los modelos de distribución potencial de especies dependerá de la disponibilidad de nuevas herramientas e interfaces que puedan mejorar la experiencia de los usuarios (Souza et al. 2009).

2.7. MODELOS DE PREDICCIÓN

Los modelos de distribución de especies/ecosistemas se han transformado en una de las áreas de investigación con mayor desarrollo en el campo de la biogeografía de la conservación (Plissock & Fuentes-Castillo 2011).

Según Joly, 1988 en Blas (2009), “un modelo es una representación simplificada de la realidad, en la que aparecen algunas de sus propiedades”. En sí, podemos definir a un modelo como una herramienta útil, que nos orienta hacia entender el funcionamiento del mundo real, en base a una versión manejable del objeto, que se adapta a las limitaciones de análisis o procesamiento de datos. Así, los modelos representan una distribución en función de los factores seleccionados para que éste se procese. Predicción se refiere a obtener una representación de la distribución de la especie, y esta será presente o futura de acuerdo a las variables utilizadas. Cuando hablamos de modelos de predicción futura, estamos advirtiendo que la selección de factores que afectan la distribución del modelo poseerá propiedades proyectadas para el futuro, y que por ende representarán una distribución en función de tales características.

En el campo de la evaluación de impactos del cambio climático y en manejo para la conservación, la teoría de los modelos de predicción futura se convierte en una herramienta de análisis clave, la cual requiere mayor coordinación con la teoría de la ecología. La incógnita ante la cual se han encontrado muchos investigadores de la biogeografía o ecología es el cómo las especies están distribuidas espacialmente, y cuáles son sus tendencias de migración sobre el globo terráqueo. Estas preguntas conllevan el desarrollo de métodos para predecir dicha distribución, a través de modelos que usan variables que determinan los sitios más idóneos para encontrar diferentes especies (Guisan & Thuiller 2005).

Se pueden distinguir cuatro grandes familias de técnicas de modelación de la distribución geográfica de las especies/ecosistemas: las relacionadas a modelos estadísticos de regresiones (Modelos Lineales Generalizados (GLM), Modelos Aditivos Generalizados (GAM), los Métodos de Clasificación (Random Forest (RF), Boosted regression trees (BRT), los métodos de “sobre” (BIOCLIM, ENFA) y aquellos basados en algoritmos específicos (GARP, MAXENT). Además se puede incluir como un nuevo enfoque los programas que utilizan ensambles de técnicas para obtener modelos de consenso, buscando disminuir los sesgos y limitaciones propias del uso en forma individual de las técnicas estadísticas mencionadas (Pliscoff & Fuentes-Castillo 2011).

Los modelos de predicción seleccionados para llevar a cabo esta investigación, los mismos que son de libre acceso y con los que se analizarán los datos, son los siguientes:

BIOCLIM: Es un modelo que evalúa nuevos sitios en términos de similaridad ambiental de lugares de presencia conocida. Tiene la habilidad para operar efectivamente usando registros de presencia y un limitado número de atributos biofísicos.

MAXENT: Es un programa para modelar la distribución geográfica de especies basada en máxima entropía.

GARP: Permite experimentos del nicho fundamental. Se usa para predecir la distribución de especies, dado un conjunto de variables ambientales.

El criterio con el que se han seleccionado los modelos parte de la naturaleza o las características del algoritmo.

CAPITULO 3: Aspectos generales

3.1 UBICACIÓN

La ubicación geográfica de la presente investigación comprende las siguientes coordenadas geográficas, correspondientes a la Sierra Norte del Ecuador a nivel macro;

Esquina superior derecha: 77° 36'45'' O 1° 10'46'' S

Esquina inferior izquierda: 79° 24'51'' O 1° 11'58'' S

Para el manejo de la información cartográfica se han utilizado las siguientes características:

Sistema de coordenadas: UTM Zona 17S, Datum WGS84

Meridiano central: -81°

Falso norte: 10.000.000,000

Falso este: 500.000,000

3.2 ÁREA DE ESTUDIO

El área de estudio comprende la parte norte del callejón interandino y de las cordilleras occidental y oriental de la Sierra del Ecuador. Abarca parcialmente las provincias del Carchi, Esmeraldas, Imbabura, Pichincha, Santo Domingo y Cotopaxi.

Áreas donde se ha registrado históricamente la presencia de la especie, la cual, se considera habita específicamente en la región Sierra Norte del país.

El límite norte del área de estudio es el límite internacional con Colombia, y al sur coincide con el límite sur de la provincia de Cotopaxi. Para definir el límite este se consideraron a las unidades hídricas, y el oeste es el límite de la región Sierra en base a Baquero et., al. Esta área abarca una extensión total de 27440 Km² aproximadamente (Fig 4).



Fig. 4. Área de Estudio & Límite Sierra del Ecuador (Fuente: Sierra, 1999)

3.3 ASPECTOS GENERALES BIOGEOGRÁFICOS

3.3.1 ASPECTOS FÍSICOS

El área de estudio presenta un mosaico diverso, donde la matriz se halla conformada principalmente por zonas intervenidas. Este paisaje se incluye áreas ubicadas entre los 400 msnm en el oeste hasta el límite nival de las cordilleras occidental y oriental. En base al Mapa de Vegetación de los Andes de Baquero et., al 2004, el área de estudio se encuentra cubierta en un 43,7% por zonas intervenidas (pastos, áreas agrícolas y urbanas), y en un 15,1% por cobertura natural intervenida, lo que hace un total de 58,83%; mientras que aproximadamente el 41,1% se encuentra cubierta por vegetación natural (donde predominan el Bosque Siempreverde Montano Bajo, el Bosque de Neblina Montano al occidente, y el Páramo Herbáceo al oriente), y el 0,1% por cuerpos de agua.

Topografía

La zona de estudio se caracteriza por la presencia de vertientes de montañas de fuertes relieves y marcada inclinación topográfica, dominando pendientes superiores al 30% sobre el 44% del área de estudio. Terrenos empinados y moderadamente empinados se distribuyen de norte a sur a lo largo de los flancos de las cordilleras, cubriendo un área del 23,6% del área de estudio. Los terrenos planos y ligeramente inclinados cubren el 32,4% del área, situándose principalmente en las zonas interandinas, y en los flancos costeros de las provincias de Pichincha y Santo Domingo de los Sáchilas. Por estas propiedades paisajísticas, el suelo en general tiende a ser inestable y susceptible a la erosión laminar, dando lugar a procesos de

deslizamiento y derrumbes en algunos lugares del área, sobre todo en épocas lluviosas. Estas características del terreno hacen que sea bastante difícil establecer transectos de un largo determinado, necesarios para implementar un diseño estandarizado de monitoreo, lo que puede derivar sitios de muestreo con una distribución más aleatoria.

Clima

De acuerdo a la distribución de climas del INAMHI en la zona de estudio domina hacia el oeste el clima Tropical Megatérmico Húmedo (tmh), y en el norte el Megatérmico Lluvioso (mll), hacia las zonas interandinas el clima Ecuatorial Mesotérmico Semi-Húmedo (emsh), y en la zonas altas el Ecuatorial de Alta Montaña (eam), además de ciertos segmentos de clima del Ecuatorial Mesotérmico Seco (ems) y el Nieval en las zonas de mayor altura (nie) (Fig. 5.). La temperatura es una de las propiedades del clima más determinantes en la caracterización de éste. Así, de acuerdo al mapa de temperatura promedio del INAMHI la temperatura promedio anual, dentro del área de estudio, oscila entre los 0 y 10° C en las zonas montañosas, 10 a 18°C en las zonas de valles, y entre 18 y 24°C hacia el oeste. Por otro lado la precipitación de la zona de estudio se distribuye en un rango sobre 7000mm en el oeste norte a 2500mm, llegando hasta 1250mm en zonas semihúmedas, y hasta 0mm en las zonas secas. La precipitación promedio anual disminuye a medida que la altitud se incrementa (Cañadas 1983, Sierra 1999). En la época seca, las heladas son frecuentes en los páramos y otras áreas abiertas sobre los 3.000 m.

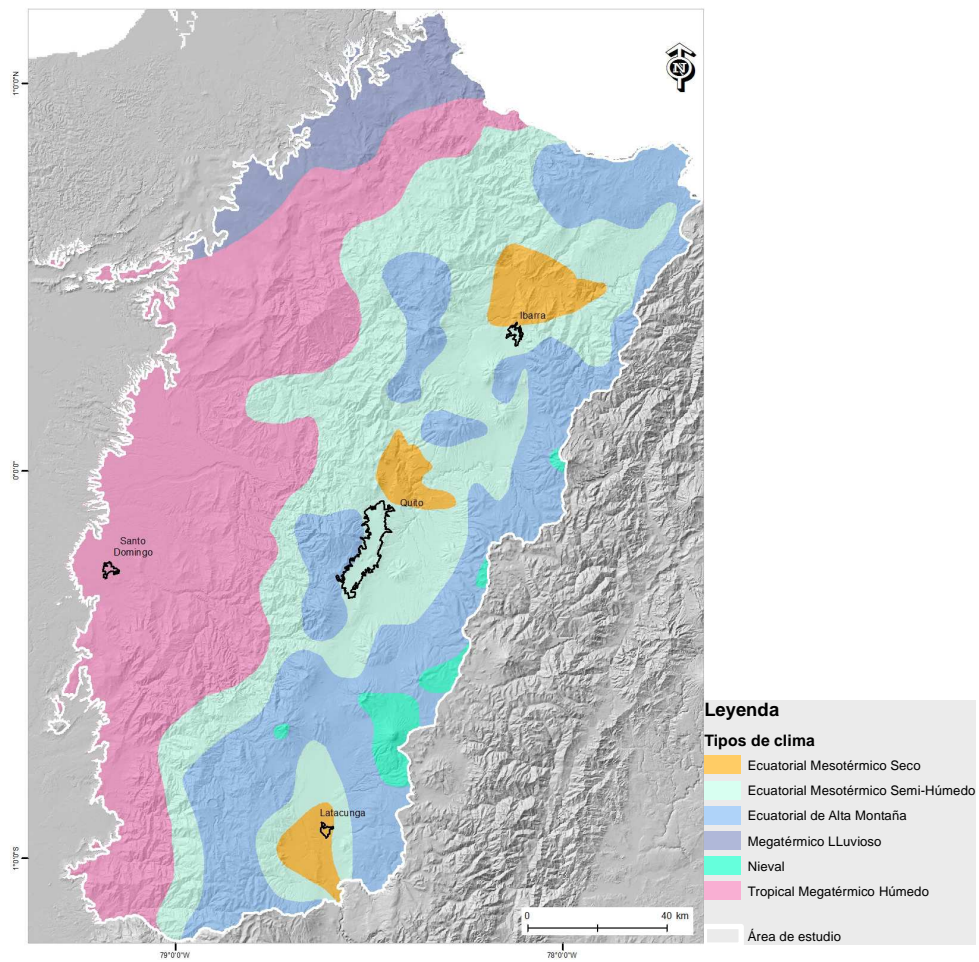


Fig. 5. Mapa de Clima (Fuente: INAMHI)

3.3.2 ASPECTOS BIOLÓGICOS

Ecosistemas

Un sistema ecológico se define como un grupo de comunidades vegetales que tienden a co-ocurrir en paisajes donde comparten procesos ecológicos, sustratos similares o gradientes ambientales (Josse et al. 2008).

Es la última clasificación donde se integran información de vegetación y paisaje de América Latina.

Considerando para la descripción de los ecosistemas que conforman el área de estudio, al Mapa de Ecosistemas Altoandinos de Josse et., al 2008, - Fig. 6- el límite altitudinal inferior del área de estudio está representado por los ecosistemas de Bosque Montano Bajo Pluvial y Bosque Piemontano Pluvial de los Andes del norte, hacia el oeste y en las provincias de Esmeraldas, Carchi, y parte en Cotopaxi, aproximadamente a unos 400msnm con algunas variaciones de valles, llegando hasta 3500msnm con ecosistemas de Bofedales Alimontanos Paramunos, Pajonal Altimontano y Montano Paramuno, Bosque Altimontano Norte-Andino Siempreverde, en los límites orientales de las cuencas de los Ríos Mira, Esmeraldas y Pastaza, en las provincias de Carchi, Imbabura, Pichincha y Cotopaxi.

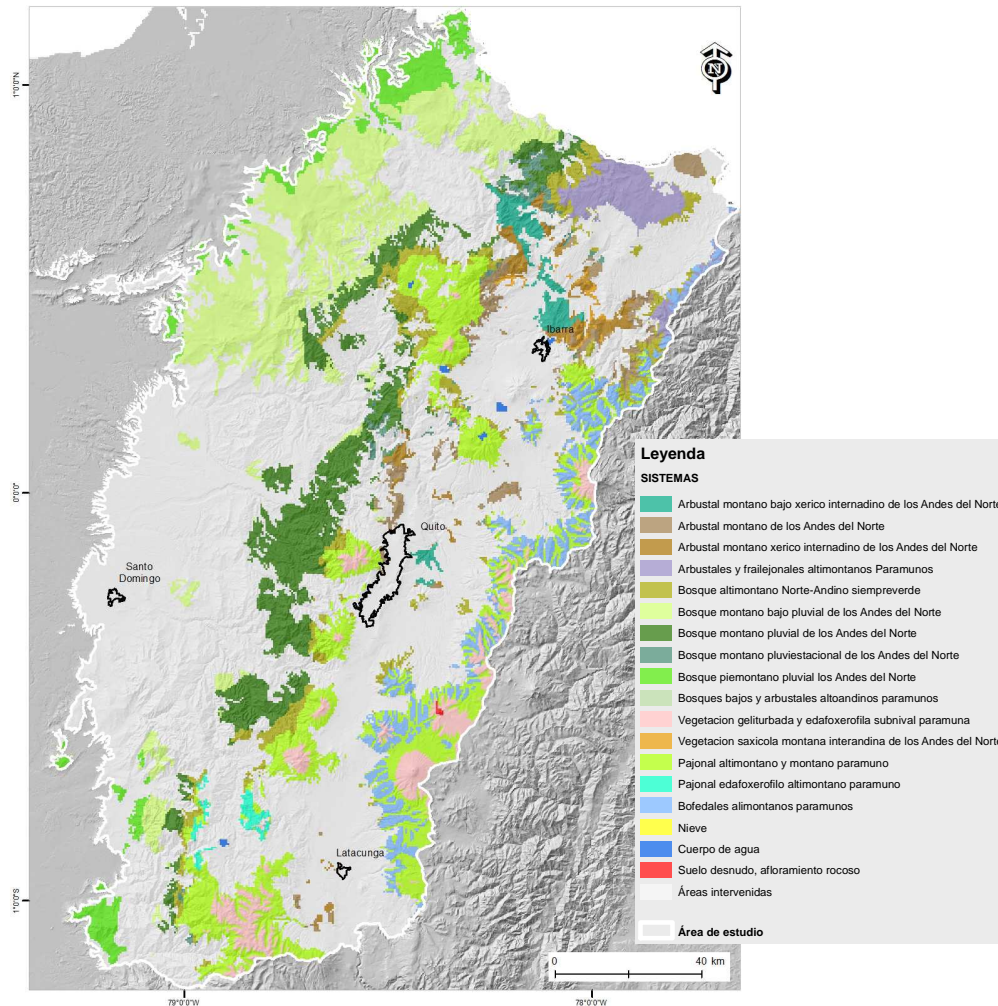


Fig. 6. Mapa de Ecosistemas de los Andes del Norte y Centrales. Bolivia, Colombia, Ecuador, Perú y Venezuela (Fuente:(Josse et al. 2008))

Formaciones Vegetales

Las formaciones naturales son unidades ecológicas que se discriminan fundamentalmente mediante las características fisonómicas generales de la vegetación, tomando en cuenta su estructura y fenología, determinadas principalmente por criterios ambientales; lo que influye en la calidad del hábitat de las especies. Otros factores importantes son las variaciones de la vegetación a lo

largo de gradientes altitudinales, su relación con los elementos del paisaje y aspectos biogeográficos (Sierra 1999).

En la Fig. 7, se observa un paisaje típico de los flancos occidentales del Volcán Guagua Pichincha; en un primer plano se tienen los pastizales, a continuación el bosque siempreverde montano alto, y en el último plano el volcán Guagua Pichincha.



Fig. 7. Flancos occidentales del Volcán Guagua Pichincha, Andes Ecuador, Aves y Conservación, 2008.

El área de estudio se caracteriza por la presencia de una diversidad de 15 categorías de formaciones naturales (Fig. 8). Entre las formaciones naturales con mayor representación en el área de estudio se encuentran el Bosque Siempreverde Montano Bajo que cubre el 9,3% del área, el Bosque de Neblina Montano entre 1800 y 3000 msnm en aquellas laderas del Volcán Pichincha que reciben precipitaciones moderadas entre 1.000 y 1.500 mm., y cubre el 6,5% del

área de estudio, el Páramo herbáceo con un rango altitudinal entre 3400 y 4000 msnm ocupando el 8,5% del área, el Bosque Siempreverde Montano Alto que cubre el 5,5% del área y se ubica entre los 3000 y 3400 msnm.

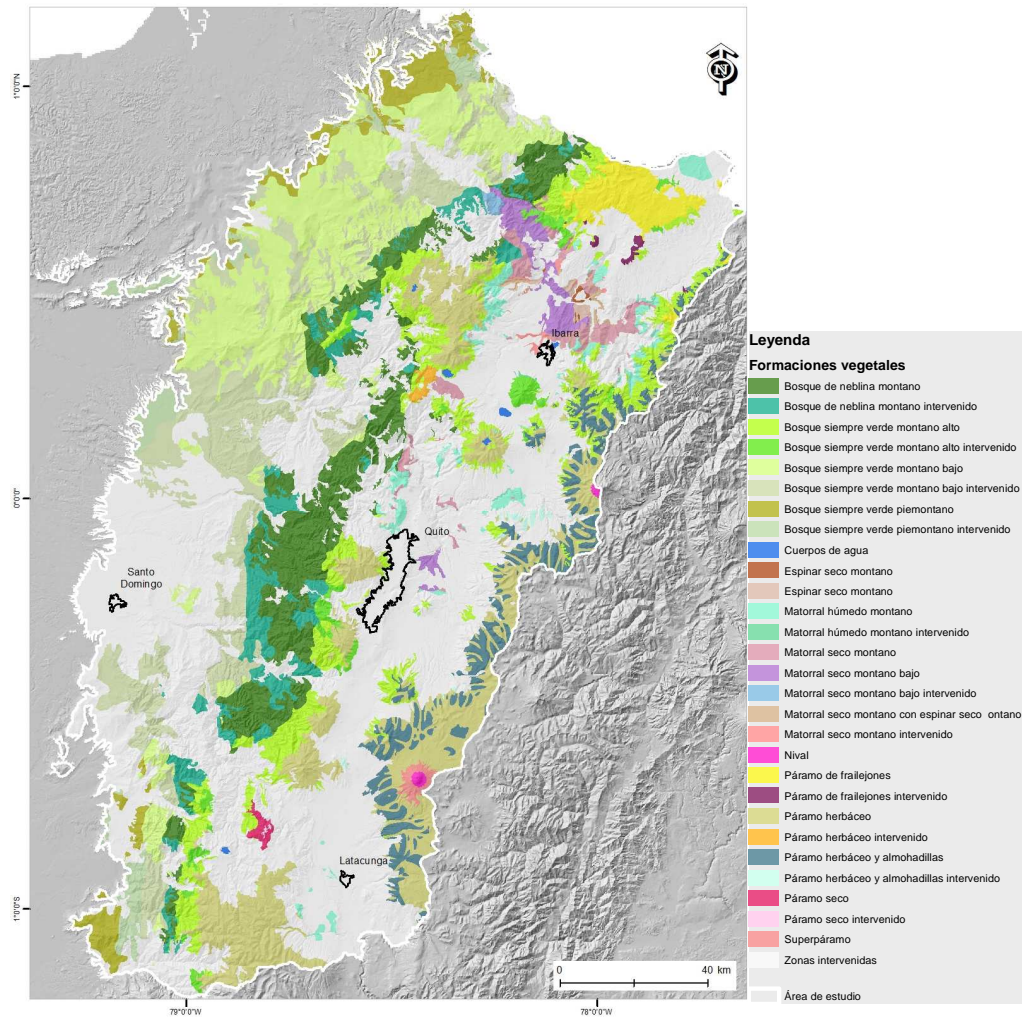


Fig. 8. Mapa de Formaciones Vegetales (Fuente: Baquero et., al, 2004)

3.4 DESCRIPCIÓN DE LA ESPECIE

El Zamarrito Pechinegro *Eriocnemis nigrivestis* (Bourcier & Mulsant, 1852) es un colibrí endémico de cordilleras y valles Andinos de Ecuador, el cual se considera Críticamente Amenazado a nivel global, debido a su tamaño poblacional pequeño y restringido rango de distribución (BirdLife International 2000, 2007) (Fig. 9).

La especie en sí es un colibrí pequeño, que puede medir entre 8 y 9 cm. Tanto macho como hembra poseen picos cortos, rectos y negros, y plumas a modo de zamarras blancas sobre sus piernas, crissum azul-violeta, y cola bifurcada azul metálico oscuro. En su vocalización, esta especie es mayormente silenciosa que ocasionalmente emite un débil tzeet tzeet luego de emprender el vuelo (Jahn, 2008). El macho se caracteriza por su plumaje enteramente negruzco en las partes superiores, cobertoras superiores de la cola azul oscuras y partes inferiores en tonos negros con la garganta azul-violeta. En la nuca y espalda superior presenta un brillo bronceado distintivo, y los machos inmaduros se parecen a las hembras (Heynen 1999, Ridgely & Greenfield 2001). Por otro lado la hembra se caracteriza por el color verde-bronce brillante encima, el cual se torna verde azulado hasta la rabadilla y las cobertoras de la cola. Posee un punto blanco post-ocular, la raya malar es de color crema o canela, con parche azul pálido en la garganta, y partes inferiores de color verde dorado, y su abdomen tiene flecos blanquecinos más extendidos (Jahn, 2008).

3.4.1 CLASIFICACIÓN CIENTÍFICA

Reino: Animalia

Filo: Chordata

Clase: Aves

Orden: Trochiliformes

Familia: Trochilidae

Género: *Eriocnemis*

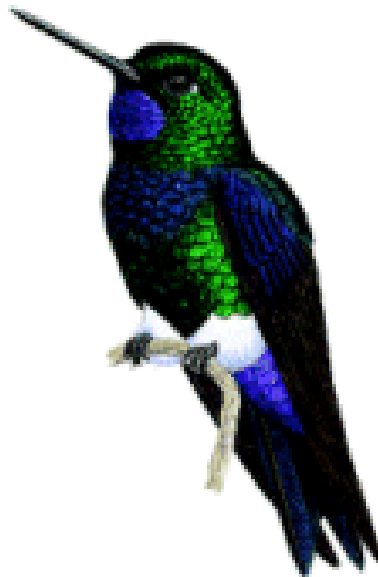


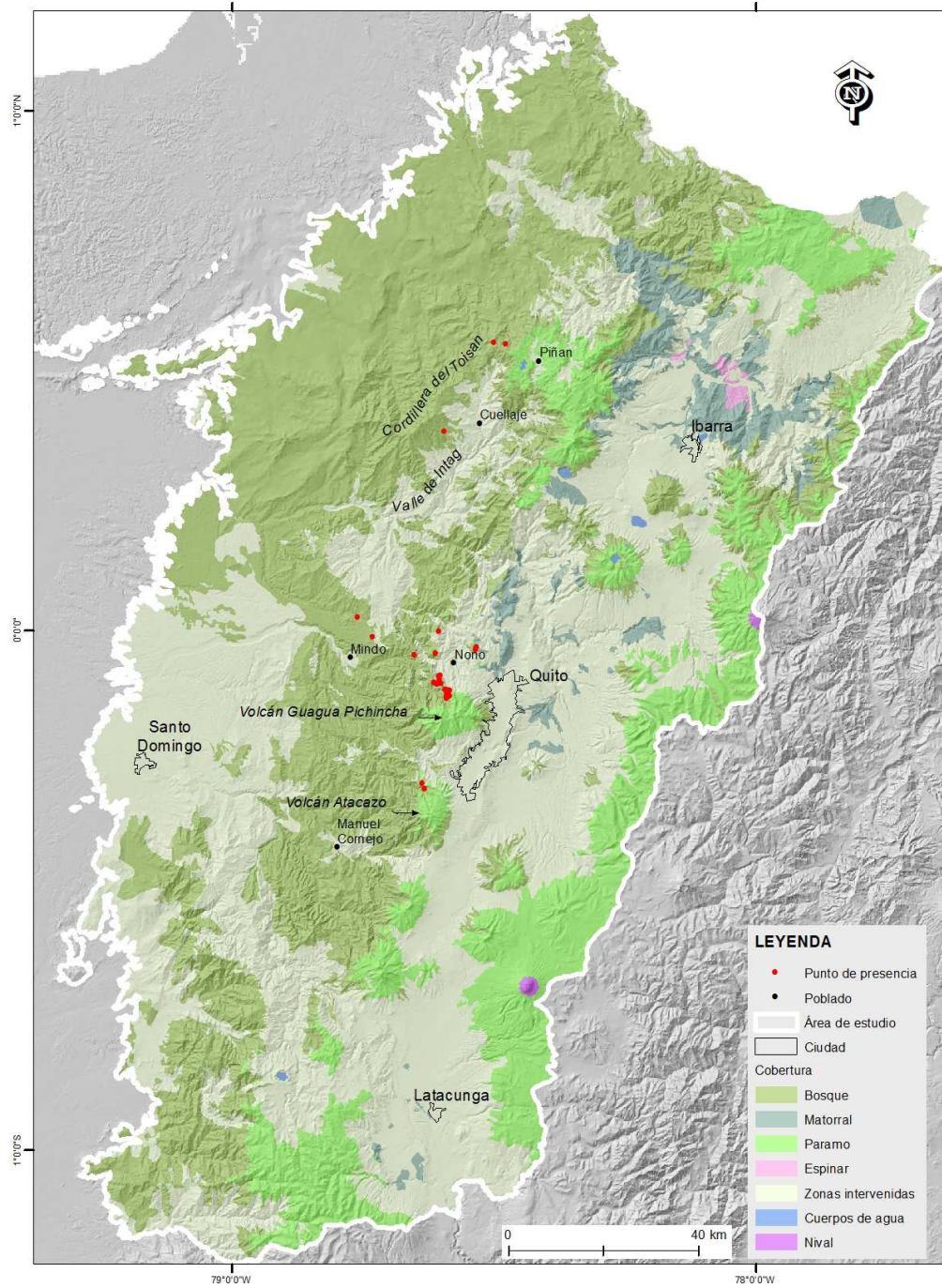
Fig. 9. Zamarrito Pechinegro – *Eriocnemis nigrivestis* (Bourcier & Mulsant, 1852)

3.4.2 DISTRIBUCIÓN BIOGEOGRÁFICA

El zamarrito pechinegro ha sido observado principalmente en las zonas de Páramo de los Andes Centrales y Laderas Interandinas y Valles (Fig. 10). La mayoría de las observaciones corresponden a la ladera noroccidental del Volcán Pichincha, con la existencia de un avistamiento adicional de una posible hembra en el vecino Volcán Atacazo en 1983 (Collar et al. 1992; Jahn, Olaf & Santander 2008). En el 2006, una pequeña población fue redescubierta en la Cordillera de Toisán sobre el valle de Intag, un sitio histórico de colección para el Zamarrito Pechinegro (Jahn, Olaf et al. 2008). Sin embargo, las poblaciones del Zamarrito Pechinegro han sufrido una continua declinación debido a la pérdida de hábitat dentro de su rango de distribución.

Se deduce que su rango de distribución extremadamente pequeño no se relaciona con falta de alimento, desde que se ha identificado una variedad de plantas que fungen como fuente de alimento para la especie (Jahn, Olaf & Santander 2008). Los registros disponibles sugieren que la especie realiza migraciones altitudinales relacionadas con el período de floración de algunas plantas (Bleiweiss & Olalla 1983). Sin embargo, sus movimientos son poco entendidos y posiblemente han cambiado en las últimas décadas (Jahn, Olaf et al. 2008). Históricamente, el Zamarrito Pechinegro fue más numeroso entre los 2.400 y 3.050 m de altura, desde abril a septiembre, y sobre los 3.100 m desde noviembre a febrero (Collar et al. 1992), durante la presunta época reproductiva (Heynen, I. 1999 en Del Hoyo, Elliot & Sargatal s/a). En los últimos años, la mayoría de los registros obtenidos se encuentran entre los 2.850 y 3.500 m, llevando a deducir la existencia de individuos inmaduros itinerantes que se han registrado hasta en los 1.700 m.

Fig. 10. Mapa de distribución biogeográfica



3.4.3 ALIMENTACIÓN DEL *Eriocnemis nigrevestis* (Bourcier & Mulsant, 1852)

Se han registrado alrededor de 30 especies de plantas de las que se alimenta el Zamarrito Pechinegro, del estudio en las laderas nor-occidentales del Volcán Pichincha de acuerdo a Santander et al., 2004; y modificado por Germán Toasa (Jahn y Santander 2008). Estas especies se detallan a continuación; entre las Ericaceae se encuentran: *Macleania cf. Rupestri* (rosado), *Macleania macrantha* (naranja), *Thibaudia floribunda* (rojo y blanco), *Disterigma cf. Acuminatum* (blanco), *Disterigma acuminatum* (rosado), *Disterigma empetrifolium* (rosado), *Pernettya prostrata* (verde), *Themistoclesia dependens* (blanco) (Krabbe et al. 1994, Bleiweiss & Olalla 1983, Santander datos no publ 2004, Germán Toasa). Entre las Rubiaceae: *Manettia recurva* (blanco), *Palicourea amethystina* (azul) (Fig. 11), *Psychotria uliginosa* (blanco) (Bleiweiss & Olalla 1983, Krabbe et al. 1994). Entre las Gesneriaceae tenemos la *Heppiella repens* (rojo) (Fig. 12), *Heppiella ulmifolia* (rojo) (Germán Toasa & Tatiana Santander datos no publ., Bleiweiss & Olalla 1983). Por otro lado, entre las Melastomataceae se encuentran la *Miconia corymbiformis* (amarillo pálido), *Miconia hymenantha* (amarillo), *Miconia sp.* (amarillo), *Brachyotum gleasonii* (Fig. 13.) (Bleiweiss & Olalla 1983, Santander 2001, Mazariegos com. pers.; Germán Toasa & Tatiana Santander datos no publ.). De las Lobeliaceae tenemos a la *Centropogon erianthus* (naranja) (Fig. 14), *Siphocampylus sp.* (amarillo), *Burmeistera sp.* (verde) (Germán Toasa & Tatiana Santander datos no publ., Navarrete com pers., Bleiweiss & Olalla 1983). Por las Onagraceae tenemos a la *Fuschia cf. Silvatica* (rojo), *Fuschia dependens* (rojo) (Bleiweiss & Olalla 1983, Aldás & Rodríguez com pers). Entre las Tropaeaceae

tenemos la *Tropaeolum pubescens* (rosado), y la *Tropaeolum smithii* (rosado) (Bleiweiss & Olalla 1983, Germán Toasa & Tatiana Santander datos no publ.). También se cuenta a la *Rubus sp.* (rosado) entre las Rosaceae (Bleiweiss & Olalla 1983, Aldás & Rodríguez com pers.), la *Gentianella jamensonii* (rosado) entre las Gentianaceae (Santander datos no publ.), la *Barnadesia arbórea* (rosado) y la *Verbesina sp.* (blanco) entre las Asteraceae (Aldás y Rodríguez com pers.), y finalmente la *Vallea stipularis* (rosado) entre las Elaeocarpaceae (Krabbe et al. 1994). Información recopilada por Jahn, O. y T. Santander. 2008.



Fig. 11. *Palicourea amenthystina*
G. Toasa 9803³



Fig. 12. *Heppiela repens* Hanst
G. Toasa 9731³



Fig. 13. *Brachyotum gleasonii*
Wurdack G. Toasa 9774³



Fig. 14. *Centropogon erianthus*
(Benth.) Benth. & Hook. f. ex

³ Fotografías tomadas en el sector de Verdecocha, estribaciones occidentales del volcán Guagua Pichincha

Su población global se ha estimado entre 50-249 individuos adultos, mientras información más moderna de observaciones en campo sugiere que los números reales llegarían a ser mayores. (Jahn, Olaf 2007).

La principal amenaza para la especie es la tala de bosque debida a la producción de madera, carbón, y la expansión de la frontera agropecuaria. En la actualidad, grandes extensiones de páramo herbáceo representan un tipo de vegetación no habitable. Por lo tanto, “la restauración de la vegetación leñosa nativa en la parte alta del rango altitudinal histórico de la especie es una prioridad de conservación, adicional a la protección del hábitat tradicional para la especie por debajo de la línea arbórea” (Jahn y Santander 2008, Jahn 2007).

En la ladera occidental del Pichincha y la cordillera del Toisan todavía existen extensas áreas de bosque, y que una especialización en la dieta no parece razón para la rareza del colibrí. Entonces, la pequeña población del ave estaría asociada a causas del cambio climático; la ausencia de registros sobre los 3500 m comprobaría esta hipótesis (Jahn, Olaf 2007).

Se hace necesario conocer si el hábitat potencial está dentro de algún mecanismo o sistema de conservación como también el conocer las áreas que se encuentran expuestas o son vulnerables a la intervención antrópica; éste será un tema de análisis en el capítulo 5.

CAPITULO 4: Metodología

4.1 RECOPIACIÓN DE DATOS

Para realizar la presente investigación, como parte fundamental en el modelado de la distribución de la especie, se requirieron los datos referentes a: cobertura de registros de la presencia de la especie, coberturas cartográficas de vegetación, clima, altitud, y límite del área de estudio. La cobertura vegetal corresponde a la generada por Baquero et al (2004), la información climática proviene de la base de datos global WorldClim (Hijmans et al. 2005). La información de altitud es del SRTM (The Shuttle Radar Topography Mission), misma que se obtuvo de CGIAR-CSI (CGIAR-CSI 2004). El límite de la región sierra se basa en el estudio de Sierra (1999).

4.1.1 REGISTROS DE LA ESPECIE

La información sobre la presencia del Zamarrillo Pechinegro fue recopilada en campo por ornitólogos durante la realización de varios proyectos a cargo de Aves & Conservación desde el año 2000 (Jahn, Olaf 2007; Jahn, O & Santader 2007), además de la recolección de registros históricos de la especie existentes en el museo de ciencias naturales. Dicha información es parte de las bases de datos de ocurrencia de especies, autoría de esta institución. El mapa de distribución de los puntos de presencia de la especie se presenta como anexo. (Ver figura 15)

4.1 ESTRUCTURACIÓN DE LA INFORMACIÓN

Una investigación con un componente espacial central, como en este caso, requiere de un tratamiento especial en cuanto a los insumos a utilizar. Por tratarse de información cartográfica georeferenciada, esta debe mantener una estructura organizada en función de temas y formatos.

En general y en cuanto al tema, la información se ha estructurado en función de cartografía base y cartografía temática. En cuanto a formatos, la cartografía se encuentra estructurada de acuerdo al tipo raster o vector. Entre éste último se encuentran polígonos, líneas y puntos.

La información se estructuró con el apoyo de la herramienta ArcCatalog de ArcGIS 10.

4.2.1 PREPARACIÓN DE LOS INSUMOS PARA SIG

Los sistemas de información geográfica requieren contar con datos previamente caracterizados con coordenadas, o aptos para ser mapeados.

En el caso de los registros de la especie, estos se obtuvieron de datos existentes en estudios biológicos en los cuáles se anota las coordenadas del avistamiento en campo del zamarrillo. Para que dichos registros sean susceptibles de ser mapeados deben estar georeferenciados con el respectivo sistema de coordenadas y datum requeridos. Es así, que las coordenadas tomadas en campo por especialistas

ornitólogos (datos de estudios A&C e históricos), primeramente se verificaron y validaron, para posteriormente integrarlas al SIG.

Otras coberturas como clima, vegetación y en sí el límite de la sierra del Ecuador, son coberturas que desde su concepción han sido caracterizadas con atributos espaciales. que permiten la fácil lectura en cualquier sistema de información geográfica; siempre y cuando el programa sea robusto para leer archivos de gran tamaño.

Los distintos software programados para el modelamiento de distribución de especies, requieren que tanto los datos vectoriales como raster cumplan las especificaciones que señalan cada uno de ellos con la finalidad de correr los algoritmos.

Primeramente es necesario estandarizar los datos en lo referente al sistema de coordenadas y datum; para nuestro estudio se usó el sistema de proyección UTM y el datum WGS 84.

DIVA requiere que los datos raster estén en formato *.grd y los datos vector, como son límites del área de estudio y puntos de muestreo, en formato *.shp;

Open modeler requiere los raster en formato *.TIFF, y los puntos de muestreo en formato *.txt; MAXENT requiere los raster en formato *.BIL, y los puntos de muestreo en formato *.csv.

Los resultados se obtuvieron en formato raster y debieron ser nuevamente estandarizados a un formato común; en nuestro caso a *. TIFF, con el propósito de visualizarlos, describirlos o analizarlos posteriormente por medio de un sistema de información geográfica (SIG), que para esta investigación fue el ArcGis 10.

4.2.2 INFORMACIÓN CARTOGRÁFICA

Esta sección presenta la información cartográfica que se ha utilizado para desarrollar el presente estudio, y se identifica sus respectivas fuentes.

4.2.2.1 CARTOGRAFÍA BASE

La cartografía base comprende información generada con estándares nacionales y está orientada a brindar una plataforma estandarizada en cuanto a la distribución sobre el terreno de los elementos referenciales del paisaje. Entre estos constan; ríos (simples y dobles), vías, centros poblados, ciudades, y curvas de nivel.

Las coberturas de cartografía base utilizada para mapear este estudio corresponden a hidrografía, vías y centros poblados a escala 1:50.000 de fuente IGM. Ésta información se uso con fines referenciales y de orientación preliminares a este estudio.

Adicionalmente se hace referencia a los mapas de áreas protegidas del Ecuador (PANE 2012), y la cobertura de bosques protectores, las cuáles fueron utilizadas para realizar procesos de análisis preliminares.

4.2.2.2 CARTOGRAFÍA TEMÁTICA

La cartografía temática recoge información de las siguientes variables:

Tabla 1. Selección de variables

Factores	Variables	Fuente	Resolución	Año	Escenario	Observaciones
Clima	BIO1 = Temperatura Media Anual	Worldclim	1 km x 1 km	2012, 2025, 2050 y 2080	Para los años 2025, 2050 y 2080 el escenario es: A2a	La información considerada de tiempo presente ha sido elaborada por el Worldclim en base a la interpolación de datos observados, con series desde los años 1950 hasta el año 2000
	BIO2 = Rango medio diario (Promedio mensual de (max temp - min temp))					
	BIO3 = Isotermalidad (P2/P7) (* 100)					
	BIO4 = Estacionalidad de la temperatura (desviación estandar *100)					
	BIO5 = Temperatura máxima del mes más caliente					
	BIO6 = Temperatura mínima del mes más frío					
	BIO7 = Rango anual de temperatura (P5-P6)					
	BIO8 = Temperatura promedio del cuarto más lluvioso					
	BIO9 = Temperatura promedio del cuarto más seco					
	BIO10 = Temperatura promedio del cuarto más cálido					
	BIO11 = Temperatura promedio del cuarto más frío					
	BIO12 = Precipitación anual					
	BIO13 = Precipitación del mes más húmedo					
	BIO14 = Precipitación del mes más seco					
	BIO15 = Estacionalidad de la precipitación (Coeficiente de variación)					
	BIO16 = Precipitación del cuarto más lluvioso					
	BIO17 = Precipitación del cuarto más seco					
	BIO18 = Precipitación del cuarto más cálido					
	BIO19 = Precipitación del cuarto más frío					
Altitud	Modelo digital del terreno	SRTM		2006		
Vegetación	Mapa de formaciones vegetales	EcoCiencia	80 m	2004		

La cobertura vegetal del área de estudio fue generada por Baquero et., al (2004). Esta cobertura se realizó utilizando como referencia imágenes satelitales Landsat de 30m de resolución, cartografía base a escala 1:50.000 y modelamiento de especies indicadoras utilizando el modelo GARP. Realizando interpretación de imágenes satelitales, utilizando estudios previos de referencia, y aplicando modelos predictivos de vegetación se delimitaron las formaciones vegetales del mapa de la Vegetación de los Andes del Ecuador (Baquero et., al, 2004).

En el caso de la cobertura de datos climáticos, estos se descargaron del sistema WorldClim para los años 2011, 2025, 2050 y 2080. Este sistema desarrolla información climática del todo el mundo, en formato GRID y en coordenadas geográficas. Posteriormente, dichos datos se transformaron a un formato apto para ser integrados en distintos software de manejo de información georreferenciada, en este caso un formato TIFF. De estas coberturas se extrajo el área geográfica de interés tomando como límite el Ecuador. Esta información fue proyectada a sistema de referencia UTM, Datum WGS84 y con resolución de 1000m (mínima unidad de detalle de la cobertura climática WorldClim). Ver modelo del proceso en la figura 15.

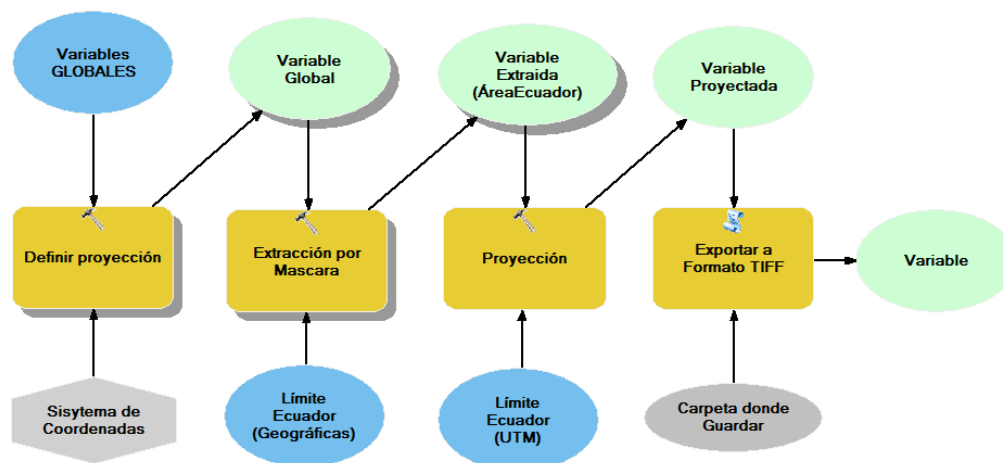


Fig. 15. Modelo del procesamiento de variables GLOBALES

La cobertura de altitud corresponde al SRTM (The Shuttle Radar Topography Mission) de CGIAR-CSI 2004. Este es un modelo digital del terreno generado para todo el mundo con una resolución de 90m. Para los intereses de este estudio se modificó la resolución espacial de esta cobertura hacia una resolución de 1000m.

4.2 ANÁLISIS CON LOS MODELOS DE DISTRIBUCIÓN DE HÁBITAT DE LA ESPECIE

Existen una variedad de modelos construidos para determinar el hábitat potencial de una especie. Para los fines de este estudio se seleccionaron 3 modelos: DIVA-BIOCLIM, MAXENT, GARP. Estos modelos han sido considerados ya que diferentes artículos científicos los han valorados como los más óptimos para estos fines (Mateo 2008) la diferencia en la naturaleza del algoritmo que cada uno de estos maneja. Se describen a continuación (OpenModeller 1.1, 2010).

El modelo BIOCLIM que se ejecuta con el software DIVA-GIS 5.2 utiliza el Bioclimatic Envelop Algorithm, el cual usa variables biológicas del clima. Para cada variable ambiental dada, el algoritmo identifica la media y la desviación estándar asociada a la ocurrencia de puntos (asumiendo una distribución normal). Cada variable obtiene su ámbito de acción representado por el intervalo $|m - c*s, m + c*s|$, donde m es la media, c es el parámetro input cutoff, y s es la distribución estándar. También para cada variable ambiental considera límites superior e inferior tomados de los valores máximo y mínimo relacionados con el grupo de ocurrencias. Categóricamente los resultados que arroja el BIOCLIM se mapean con probabilidades de 1.0, 0.5, y 0.0, respectivamente.

En este modelo los pixels de la cobertura resultante pueden llegar a ser clasificados como:

Apto – Si todos los valores ambientales asociados caen dentro de los ámbitos calculados.

Marginal – Si uno o más de los valores ambientales asociados cae fuera del ámbito calculado, pero continúa dentro de los límites superior o inferior.

No apto - Si uno o más de los valores ambientales asociados caen fuera de los límites superior e inferior.

El modelo MAXENT se basa en el principio de máxima entropía, un método para analizar la información cualitativa disponible en función de determinar una distribución de probabilidad epistémica única. El principio plantea que la distribución menos viciada que codifica una información dada es la que maximiza la entropía de esta información.

Esta teoría de máxima entropía fue introducida por E.T. Jaynes en 1957, la cual dice que “la teoría de la información provee un criterio constructivo para ajustar la probabilidad de distribución en base al conocimiento parcial, y guía a un tipo de interferencia estadística que es conocida como el estimado de máxima entropía. Esta es la estimación menos viciada posible sobre la información dada”.

El modelo GARP es un algoritmo genético que crea modelos de nicho ecológico para las especies. Este describe las condiciones ambientales bajo las cuales las especies deberían poder mantener sus poblaciones. GARP usa la cobertura de distribución de ocurrencias de la especie y un grupo de coberturas que representan a distintas variables ambientales que limitarían la capacidad de sobrevivir de la especie. Este algoritmo se ejecuta en OpenModeller y aplica el proceso de Best Subsets (Mejores subgrupos).

4.3.1 VARIABLES USADAS EN EL MODELADO

Se busca determinar el nicho fundamental que se constituye como una parte del nicho real. Para ello interesan las variables bioclimáticas y de altitud. En función de considerar las variables bioclimáticas se puede determinar el nicho fundamental, el cual reúne el conjunto de condiciones ambientales óptimas para que una especie persista.

El WorldClim presenta 19 variables bioclimáticas que caracterizan distintos atributos del clima (Ver Tabla 1). Las variables bioclimáticas son obtenidas a partir

de datos mensuales de temperatura y precipitación, a fin de producir variables biológicamente más significativas.

Después de un análisis de las variables utilizando la herramienta Jackknife en Maxent (Philips et al. 2006), y la correlación de las variables en los sitios de ocurrencia a través del Scatter Plots, se seleccionaron un grupo de 5 variables climáticas además del Modelo Digital del Terreno (DTM) para correr los modelos (Tabla 2). Estas variables son las que mejor contribuyen a la construcción del modelo ya que son las menos correlacionadas, es decir no presentan valores que se repitan con otras variables explanatorias en los pixels donde se destaca la presencia de la especie.

Tabla 2. Variables seleccionadas

No.	Variables
1	Modelo digital del terreno
2	Precipitación del cuarto más lluvioso
3	Temperatura mínima del mes más frío
4	Precipitación del mes más húmedo
5	Estacionalidad de la temperatura
6	Estacionalidad de la precipitación

El mismo grupo de variables proyectadas para los años 2025, 2050 y 2080, bajo el escenario de emisiones A2CO₂ del IPCC (IPCC 2000), fue aplicado en los modelos de distribución futura.

Todas las coberturas fueron transformadas para ser desplegadas con el software DIVA-GIS 5.2 formato GRD, para MAXENT formato BIL, y para el software

GARP en formato TIFF, cuyo módulo se ejecuta en el software libre OPEN MODELER.

4.3.2 DETERMINACIÓN DE LA MUESTRA

Los datos de muestreo han sido proveídos por Aves & Conservación – BirdLife Ecuador, guardián oficial de la especie Zamarrillo Pechinegro (ver tabla 3 y figura 10, pag. 45). Dichos datos fueron recopilados de los archivos históricos del museo de ciencias naturales y de los diferentes proyectos que la fundación ha realizado desde el año 2001. Todos los datos existentes relevantes han sido considerados para alimentar la muestra utilizada en el modelo. La cantidad de datos de presencia que se tomaron en cuenta son 34; Éste número han dependido de los avistamientos de la especie; el muestreo tiene un alto grado de dificultad ya que el colibrí es extremadamente raro y elusivo. (Jahn, Olaf & Santander 2008)

Tabla 3. Puntos de coordenadas donde se ha observado al colibrí

N o.	# REGISTROS	LUGAR	ANTES DE 1950	1950 1999	2000_ 2006	Longitud	Latitud
1	1	Intag	1			-78,59455108170	0,38058434156
2	3	La Merced de Nono 1	0		1	-78,53240468420	-0,03383139909
3	3	La Merced de Nono 2	0		1	-78,53454450210	-0,03911131867
4	2	Yanacocha3	0	1		-78,58448285160	-0,11728191348
5	3	Yanacocha4	0		1	-78,58565002490	-0,11730970244
6	3	Yanacocha5	0		1	-78,58826227020	-0,11661497626
7	3	Yanacocha6	0		1	-78,58829006010	-0,12197826249
8	3	Yanacocha7	0		1	-78,58826227020	-0,12228394206
9	3	Yanacocha8	0		1	-78,58845679920	-0,12314540252
10	3	Yanacocha9	0		1	-78,58870690780	-0,12575757300
11	1	Yanaocha10_1	1		0	-78,58995745080	-0,12778617349
12	3	Yanaocha11	0		1	-78,58845679930	-0,12998150822
13	3	Yanaocha12	0		1	-78,58901259610	-0,13087075775
14	3	Yanaocha13	0		1	-78,58948502350	-0,13153769491
15	3	Yanaocha14	0		1	-78,59040208830	-0,13273262390
16	2	Loma Gramalote	0	1		-78,59340339130	-0,11503100051
17	1	Frutillas	1			-78,60142604440	-0,08796941085
18	2	Cerro Pugsi	0	1		-78,60118454740	-0,10335960018
19	3	Cerro Pugsi	0		1	-78,60910465290	-0,10347075629
20	3	Cerro Pugsi	0		1	-78,60860443570	-0,10511031015
21	3	Cerro Pugsi	0		1	-78,60879896460	-0,10449895110
22	3	Monte Bravo	0		1	-78,61338428870	-0,10183120239
23	1	Alaspungo	1			-78,60535302360	-0,00331902110
24	1	Atacazo1	1	0		-78,63257504190	-0,30639123556
25	3	La Bola	0		1	-78,65134897470	-0,04876112570
26	3	Chiquilpe	0		1	-78,61168894460	-0,04669884505
27	3	Cayapachupa	0		1	-78,47757452160	0,54992071693
28	2	Atacazo2	0	1		-78,63696246300	-0,29649130701
29	3	Yanaocha10_2	0		1	-78,58426824310	-0,12783022134
30	1	Hcda. Verdecocha1	1		0	-78,60535302390	-0,08946507588
31	3	Hcda. Verdecocha2	0		1	-78,60376453250	-0,09621034704
32	3	Cayapachupa2	0		1	-78,49964114900	0,55196187566
33	3	Sachatamia	0		1	-78,76069824810	0,02308057784
34	3	Las Gralarias	0		1	-78,73221365880	-0,01404559439

4.2.2 FASES DEL MODELADO

Para llevar a cabo el modelado de la distribución potencial presente y futura del hábitat de la especie, se han llevado a cabo una serie de pasos, generalizado en 6 fases principales. (1) Preparación de insumos en formatos aptos para cada software, (2) Definición del polígono de la zona de estudio, (3) Preparación del formato de ocurrencia de especies, (4) Ajuste de parámetros para los diferentes algoritmos, (5) Corrida del modelo, (6) Conversión de los raster al formato .TIFF, y (7) Análisis de mapas .

La fase 1 se ha descrito con mayor detalle en la sección 4.2.1.

La fase 2 comprende específicamente la creación de un polígono (usando herramientas SIG), a utilizarse como referencia y límite de la zona de interés para el análisis de los datos. Los criterios utilizados en construir esta área de estudio se encuentran expuestos en la sección 3.2.

Respecto a la fase 3, preparación del formato de ocurrencia de especies, esta se refiere a la preparación de la tabla de puntos de muestreo (ocurrencia de la especie) en el formato requerido por el software.

DIVA, precisa de una cobertura vectorial en formato *.shp, Open Modeler, de una tabla en formato *.txt, y MAXENT de una tabla en formato *. csv.

Para la fase 4, ajuste de parámetros para los diferentes algoritmos o modelos, se ha considerado que cada software de modelamiento posee distintos parámetros de

acción que requieren ser ajustados previos a ser integrados para la ejecución (ver tabla 4).

Entre estos constan; umbral de predicción, número de interacciones, porcentaje de puntos de prueba, umbral de omisión, y el umbral de comisión de predicción. A continuación se presenta una tabla resumen de los parámetros utilizados para cada modelo.

Tabla 4. Parámetros de los modelos seleccionados

Modelo	Parámetros	Valor
Bioclim	Desviación estándar Cutoff	0,674
Garp	Umbral de comisión	50
	Límite de convergencia	1
	Umbral de omisión	50
	Interacciones	200
	Proporción de datos de entrenamiento	25%
Maxent	Interacciones	500
	Proporción de datos de entrenamiento	25%

La fase 5 corresponde a la corrida del modelo, es decir una vez seleccionados y recopilados los insumos, además de adecuados para ser integrados en cada software de modelamientos, estos se ejecutan para cada algoritmo. Revisar sección 4.3.3.

La fase 6, conversión del formato de cada software a formato *.TIFF es necesaria ya que los resultados de los modelamientos se presentan en distintos formatos. Estos productos se lanzan en formatos GRD para DIVA-GIS 5.2, BIL para MAXENT, y TIFF para GARP; pero todos deben ser transformados a TIFF para ser integrados en ArgGIS para el posterior análisis de los resultados y elaboración de productos finales.

Finalmente, la fase 7, Análisis de mapas, en la cual se suman las coberturas producto de los distintos modelos con un análisis de álgebra de mapas. Con esto se identifica donde los modelos se traslapan, o donde no. Utilizando la zona de traslapo de los tres modelos, se construye una cobertura nueva, la cual se usa para intersecar con las áreas de bosque conocidas como el hábitat del colibrí (ver figura 17). Esto permitió conocer cuál es el área efectiva que representa la distribución potencial respecto al área de estudio. Posteriormente esta zona se interseca con la cobertura del Programa de Areas Nacionales del Ecuador (PANE) y bosques protectores, con la finalidad de conocer cuál es el porcentaje de áreas de distribución potencial del ave que se encuentra en zonas ya protegidas. También es relevante el identificar áreas que se encuentran fuera de sitios ya conservados, y que puedan ser considerados posteriormente como áreas de interés para la implementar estrategias de conservación del hábitat de la especie.

4.2.3 EJECUCIÓN DE LOS MODELOS

Para modelar la distribución potencial del hábitat presente del Zamarrillo Pechinegro, se aplicó el algoritmo de cada uno de los modelos seleccionados, y expuestos en el inicio de esta sección (4.3). Se utilizaron las variables climáticas del año 2011 (WorldClim) para la distribución actual, y la de los años 2025, 2050 y 2080 para la distribución futura. Además, la cobertura de ocurrencias de la especie, construida en función de los datos de Aves&Conservación, la cobertura vegetal del año 2004 (Baquero, 2004), el modelo digital de elevación del año 2006 (SRTM-NASA, 2006), y el límite del área de estudio realizado para los fines de este estudio.

Las variables bioclimáticas utilizadas para los modelos futuros son aquellas pronosticadas para los años 2025, 2050 y 2080, de acuerdo a los informes del IPCC (IPCC, 2006).

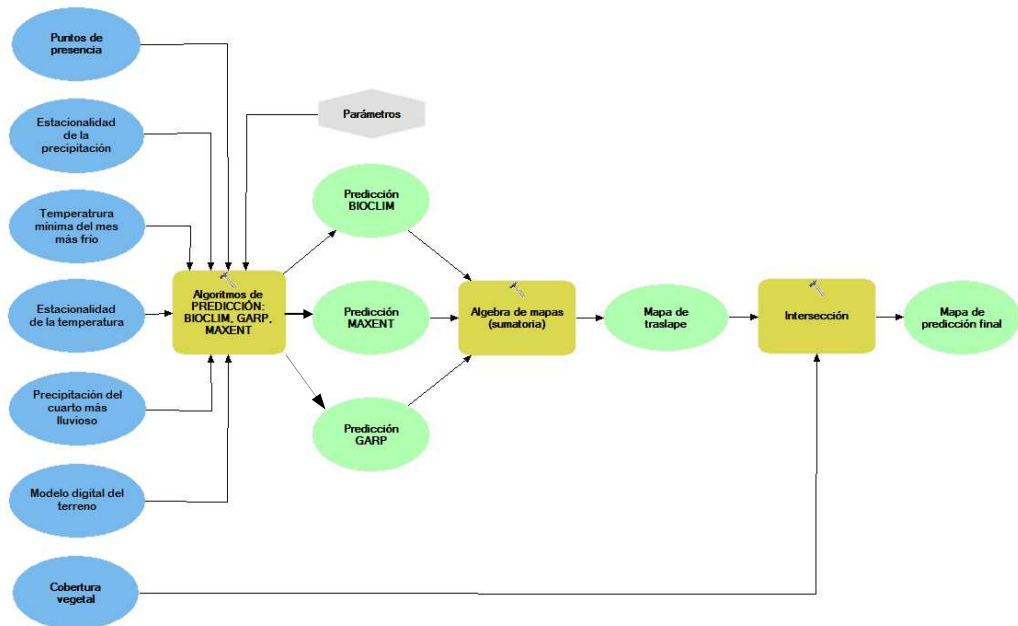


Figura. 16. Gráfico de ejecución del modelo

CAPITULO 5: Análisis e interpretación de resultados

5.1 MODELADO DE DISTRIBUCIÓN PRESENTE DE LA ESPECIE

En la figura 17 se representan 7 mapas, los tres primeros corresponden a la distribución potencial en base a los tres modelos (BIOCLIM, GARP y MAXENT); el siguiente mapa, predicción común de los tres modelos; quinto mapa, ubicación de la zona de estudio; sexto, mapa de vegetación, y por último, el mapa de distribución potencial del hábitat del zamarrito pechinegro

En el primer tercio de mapas, se observa una representación gráfica de la predicción del hábitat potencial del colibrí calculada por los 3 modelos (ver tabla 5) y representada en 6 rangos de colores: excelente, muy alto, alto, medio, bajo y no apto; estos rangos de valores se visualizan en la leyenda correspondiente a la figura 17.

El cuarto mapa es el resultado de la intersección de los tres mapas anteriores; el objetivo de este proceso cartográfico es el de obtener un mapa que represente las zonas comunes donde los tres modelos predicen la distribución potencial del hábitat.

El séptimo mapa, es la intersección del mapa anterior (zonas comunes de predicción) con el mapa de vegetación. El resultado, es un mapa donde se representan el área de predicción común de los tres modelos que se encuentran en zonas con cobertura vegetal.

Éste último mapa de acuerdo al presente estudio, nos indican las áreas de distribución potencial del hábitat.

Tabla 5. Tabla comparativa de predicciones de los modelos

	BIOCLIM	MAXENT	GARP
	Área (Km²)		
No apto	23619	16998	14585
Bajo	7	3812	5688
Medio	1589	2460	1753
Alto	1045	1767	1712
Muy alto	1304	1406	1782
Excelente	18	1138	2062
<i>AUC</i>	0,99	0,99	0,99

AUC (the Area Under the Receiver Operating Characteristic Curve) indica el ajuste del modelo; en este caso los valores están muy cercanos a 1, es decir que el ajuste de los modelos son muy altos.

En la tabla 6, se realizó el cálculo de las áreas de predicción común que están dentro de zonas con vegetación y de las áreas de predicción común que abarcan la zona de estudio.

En la columna 4, fila 2, se tiene que el 8,6 % del área de estudio corresponde a la predicción, y en la columna 1 fila 2, solo el 3,5 % del área de estudio se encuentran en áreas con cobertura vegetal.

Tabla 6. Superficies de predicción

	Mapa de vegetación		Zona de estudio	
	Área (Km ²)	%	Área (Km ²)	%
Sin datos	26579	96,5	25061	91,4
Predicción (Traslape de los tres modelos)	861	3,5	2379	8,6
<i>TOTAL</i>	27440	100	27440	100

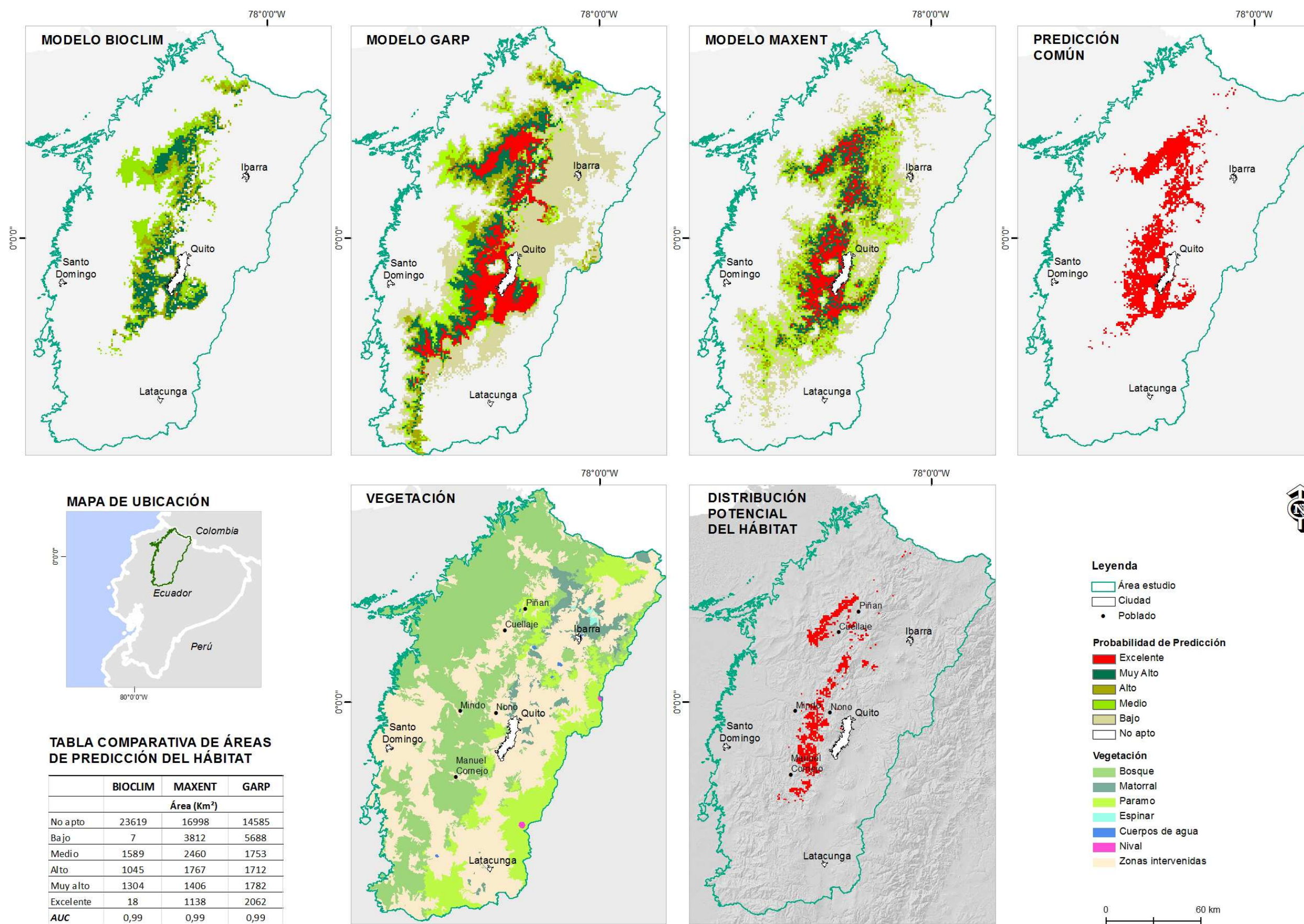


TABLA COMPARATIVA DE ÁREAS DE PREDICCIÓN DEL HÁBITAT

	BIOCLIM	MAXENT	GARP
	Área (Km ²)		
No a pto	23619	16998	14585
Bajo	7	3812	5688
Medio	1589	2460	1753
Alto	1045	1767	1712
Muy alto	1304	1406	1782
Excelente	18	1138	2062
AUC	0,99	0,99	0,99

Figura. 17. Mapa de predicciones con los diferentes modelos

A continuación, se realizó la intersección entre el mapa de distribución potencial del hábitat del colibrí y las áreas de formaciones vegetales; como resultado, ver tabla 7, se tiene que las áreas de traslape con mayor porcentaje están representadas en remanentes de Bosque de Neblina Montano con el 2,2 % y Bosque Siempre verde Montano Alto con el 1% del 100 % del área de estudio.

El resto de áreas no son tomadas ya que el ave no habita en esos tipos de formaciones vegetales.

Tabla 7. Distribución potencial del hábitat vs mapa de formaciones vegetales en la zona de estudio

Formaciones Vegetales	Código	Predicción	
		Área (Km ²)	%
Bosque de Neblina Montano	Bnm	439	1,6
Bosque de Neblina Montano Intervenido	Bnm/l	154	0,6
Bosque Semideciduo Montano Bajo	Bsdmb	36	0,1
Bosque Semideciduo Montano Bajo Intervenido	Bsdmb/l	30	0,1
Bosque Siempreverde Montano Alto	Bsvma	187	0,7
Bosque Siempreverde Montano Alto Intervenido	Bsvma/l	81	0,3
Bosque Siempreverde Montano Bajo	Bsvmb	63	0,2
Bosque Siempreverde Montano Bajo Intervenido	Bsvmb/l	23	0,1
Bosque Siempreverde Piemontano	Bsvp	29	0,1
Bosque Siempreverde Piemontano Intervenido	Bsvp/l	30	0,1
Cuerpos de Agua	Ca	21	0,1
Espinar Seco Montano	Esm	23	0,1
Espinar Seco Montano Intervenido	Esm/l	25	0,1
Matorral Húmedo Montano	Mhm	23	0,1
Matorral Húmedo Montano Intervenido	Mhm/l	24	0,1
Matorral Húmedo Montano Bajo	Mhmb	13	0
Matorral Húmedo Montano Bajo Intervenido	Mhmb/l	19	0,1
Matorral Seco Montano	Msm	16	0,1
Matorral Seco Montano con Espinar Seco Montano	Msm-Esm	22	0,1
Matorral Seco Montano con Espinar Seco Montano Intervenido	Msm-Esm/l	23	0,1
Matorral Seco Montano Intervenido	Msm/l	19	0,1
Matorral Seco Montano Bajo	Msemb	21	0,1
Matorral Seco Montano Bajo Intervenido	Msemb/l	16	0,1
Nival	Ni	23	0,1
Páramo Arbustivo	Pa	23	0,1
Páramo Arbustivo Intervenido	Pa/l	23	0,1
Páramo de Frailejones	Pf	21	0,1
Páramo de Frailejones Intervenido	Pf/l	24	0,1
Páramo Herbáceo	Ph	80	0,3
Páramo Herbáceo y Almohadillas	Ph-Pal	31	0,1
Páramo Herbáceo y Almohadillas Intervenido	Ph-Pal/l	28	0,1
Páramo Herbáceo Intervenido	Ph/l	42	0,2
Páramo Seco	Ps	26	0,1
Páramo Seco Intervenido	Ps/l	26	0,1
Superpáramo	Sp	42	0,2
Zonas Intervenidoas	Zi	653	2,4

En la tabla 8, se muestra las superficies del programa de áreas naturales del Ecuador (PANE) en la zona de estudio. Se tiene un total de 16,2% del área de estudio en el PANE, y las zonas que mayor área ocupan son la reserva ecológica Cotacachi Cayapas y la reserva ecológica los Ilinizas, con el 8,1% y el 4,9% respectivamente.

Tabla 8. Superficies del PANE en el área de estudio

Área Protegida		Área (Km ²)	%
Parque Nacional	Cotopaxi	291	1,1
Parque Nacional	Llanganates	61	0,2
Reserva Ecológica	Antisana	1	0,0
Reserva Ecológica	El Ángel	157	0,6
Parque Nacional	Cayambe Coca	333	1,2
Reserva Ecológica	Cotacachi Cayapas	2229	8,1
Reserva Ecológica	Los Ilinizas	1345	4,9
Reserva Geobotánica	Pululahua	35	0,1
Refugio de Vida Silvestre	Pasochoa	6	0,0
Área Nacional de Recreación	El Boliche	4	0,0
<i>Área Total de Áreas Protegidas</i>		4462	16,2
<i>Área Total del Área de Estudio</i>		27580	

El siguiente análisis se realizó intersecando el mapa de distribución potencial del hábitat de zamarrito pechinegro con el mapa del Programa de Áreas Naturales del Ecuador (PANE) en la zona de estudio. Ver tabla 9 y figura 19.

Se tiene por tanto el 17,7 % de la distribución potencial del hábitat se encuentra dentro del PANE, y que corresponden a 152 Km²; equivale al 0,5 % del área de estudio.

Tabla 9. Áreas de distribución potencial del zamarrito pechinegro vs PANE en la zona de estudio

Área Protegida		Predicción	
		Área (Km ²)	%
Reserva Ecológica	Cotacachi Cayapas	124	14,4
Reserva Ecológica	Los Ilinizas	18	2,1
Reserva Geobotánica	Pululahua	10	1,2
TOTAL		152	17,7

En la tabla 10, se tiene las superficies de la distribución potencial del colibrí que se encuentran dentro de los bosques protectores. El 48,2% de la predicción se localiza dentro de las áreas de bosques protectores que corresponden a 425 Km²; equivale al 1,5 % del área de estudio.

Los valores que se observan con altos porcentajes de predicción sugieren distintos sectores de interés a los comúnmente registrados de presencia del colibrí.

En el anexo 1, se tiene los restantes bosques protectores dentro del área de estudio.

Tabla 10. Áreas de distribución potencial del zamarrito pechinegro en los bosques protectores de la zona de estudio

Bosque Protector	Predicción	
	Área (Km ²)	%
Toachi Pilatón	127	14,75
Mindo Nambillo	92	10,69
Cuenca río Guayllabamba (Area 1), Área de drenaje de los ríos Umachaca, Quebrada Afilana, Márgen izq. del río Pichán, Alambi Alto y Tandayapa	62	7,20
Intag (El Chontal)	23	2,67
Paso Alto	19	2,21
Cambugan	18	2,09
Maquipucuna	12	1,39
Zarapullo	12	1,39
Santa Rosa y Yasquel	11	1,28
Toaza	6	0,70
Subcuenca alta del río Saloya y Quebrada San Juan	5	0,58
Cerro Golondrinas	4	0,46
Animanga o Taminanga Grande	4	0,46
San Carlos de Yanahurco	4	0,46
Flanco Oriental de Pichincha y Cinturón Verde de Quito	3	0,35
Pajas de oro	2	0,23
Hacienda Piganta	2	0,23
La Paz y San José de Quijos	2	0,23
Cuenca Río Guayllabamba (Area 2), Área entre el río Tulumbí y márgen derecha del río Alambi.	1	0,12
Cushnirumi (San Alberto)	1	0,12
Siempre Verde	1	0,12
Siempre Vida	1	0,12
Tanlahua y Ampliación	1	0,12
Subcuenca alta del río Cinto	1	0,12
Subcuenca alta de los ríos Pichán y Verde Cocha	1	0,12
TOTAL	415	48,20

En la tabla 11, se presentan las superficies que corresponde a las áreas protegidas; es la suma de las áreas dentro del PANE y la suma de las áreas dentro de los bosques protectores.

Tabla 11. Superficies de la distribución potencial del hábitat del zamarrito pechinegro en las áreas protegidas

Áreas Protegidas	Área (Km ²)	%
PANE	152	17,7
Bosques protectores	415	48,2
<i>Total</i>	567	65,8

El 65,8 % de la distribución potencial del hábitat del *Eriocnemis nigrevestis* se encuentra en áreas protegidas con una superficie de 567 km²; que equivale al 2 % del área de estudio.

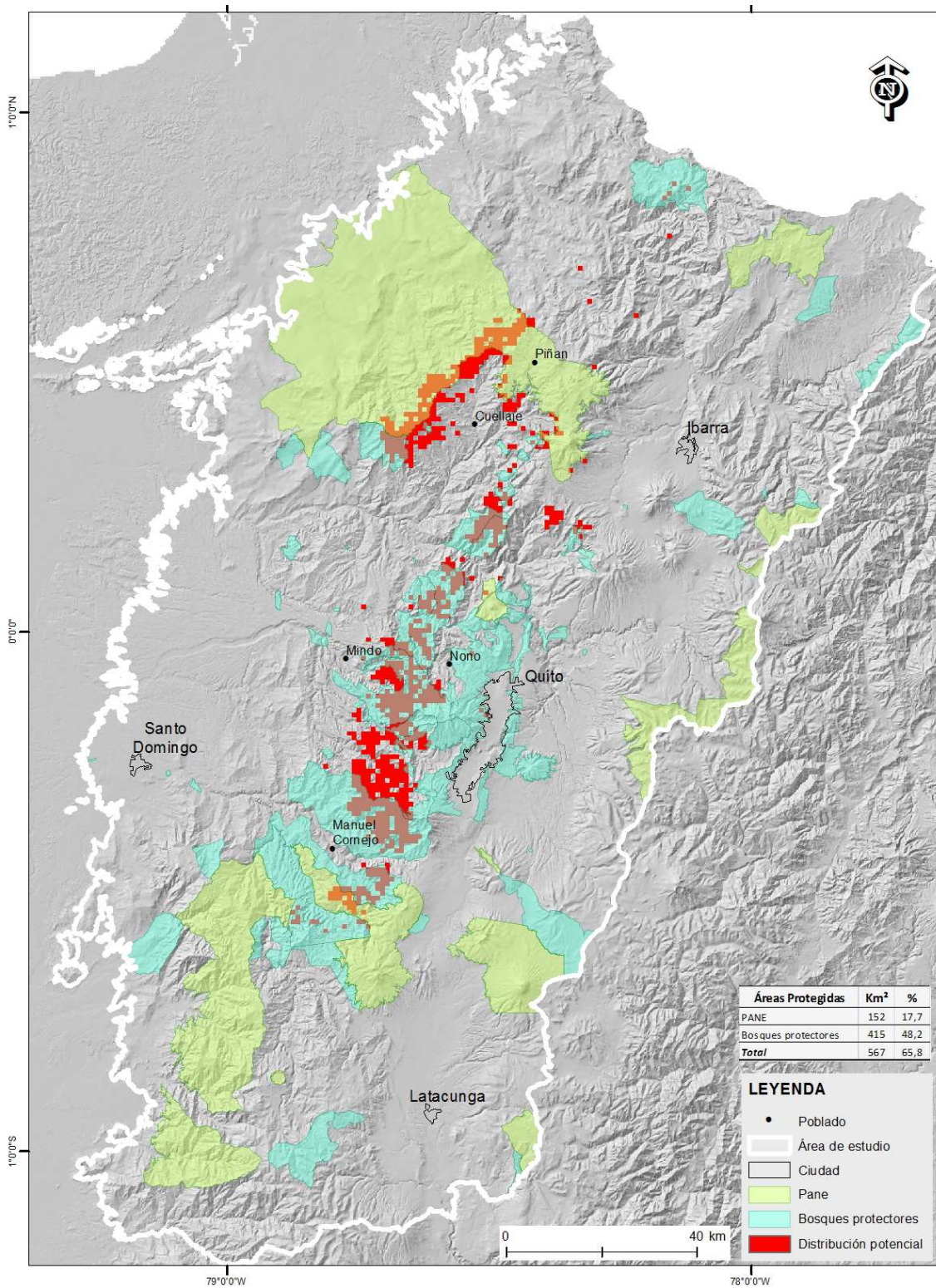


Figura. 18. Mapa de distribución potencial y áreas protegidas

5.2 VERIFICACION EN EL CAMPO

Respecto a la verificación en el campo de los resultados de los modelos, se considera a este tema como un proceso de mediano y largo plazo. Corresponde a los especialistas ornitólogos utilizar este insumo de predicción de distribución potencial de la especie, para planear mediante métodos científicos de monitoreo, el avistamiento del ave en el campo.

En éste proyecto se realizaron las verificaciones de campo en las áreas de Verdecocha, lugar ubicado en el lado norte de las faldas del volcán Guagua Pichincha. En las tres salidas que realicé acompañado de expertos ornitólogos no fue posible avistar el colibrí, ya sea por la dificultad inherente a la especie, a la logística requerida y a las experticias necesarias para la observación.

Es una especie de muy alta dificultad de avistamiento, muy escaza y escurridiza; se requiere de experticias auditivas y visuales para llegar a observar el ave; el hábitat particular sugiere que personal altamente calificado y con la logística necesaria debe acceder por varias semanas para lograr el objetivo.

En los meses posteriores al presente estudio, los datos de los modelamientos de distribución sirvieron para posteriores avistamientos por parte de ornitólogos de Aves y

Conservación; Éstas observaciones tuvieron lugar en la zona del Volcán Atacazo y en el sector La Esperanza, al norte del volcán Guagua Pichincha, fig. 19.



Fig. 19. *Eriocnemis nigrivestis* (Bourcier & Mulsant, 1852)– Cupuerán F., Aves y Conservación 2009. Foto: Fabián Cupuerán

5.3 MODELADO DE DISTRIBUCIÓN FUTURA DE LA ESPECIE

El modelado de distribución futura del hábitat del Zamarrito Pechinegro se realizó solo con el software DIVA GIS, modelo BIOCLIM; posteriormente se realizó la intersección con la cobertura vegetal.

Se hace la suposición, que la cobertura vegetal se mantendría igual para los diferentes periodos de proyección (20025, 2050 y 2080).

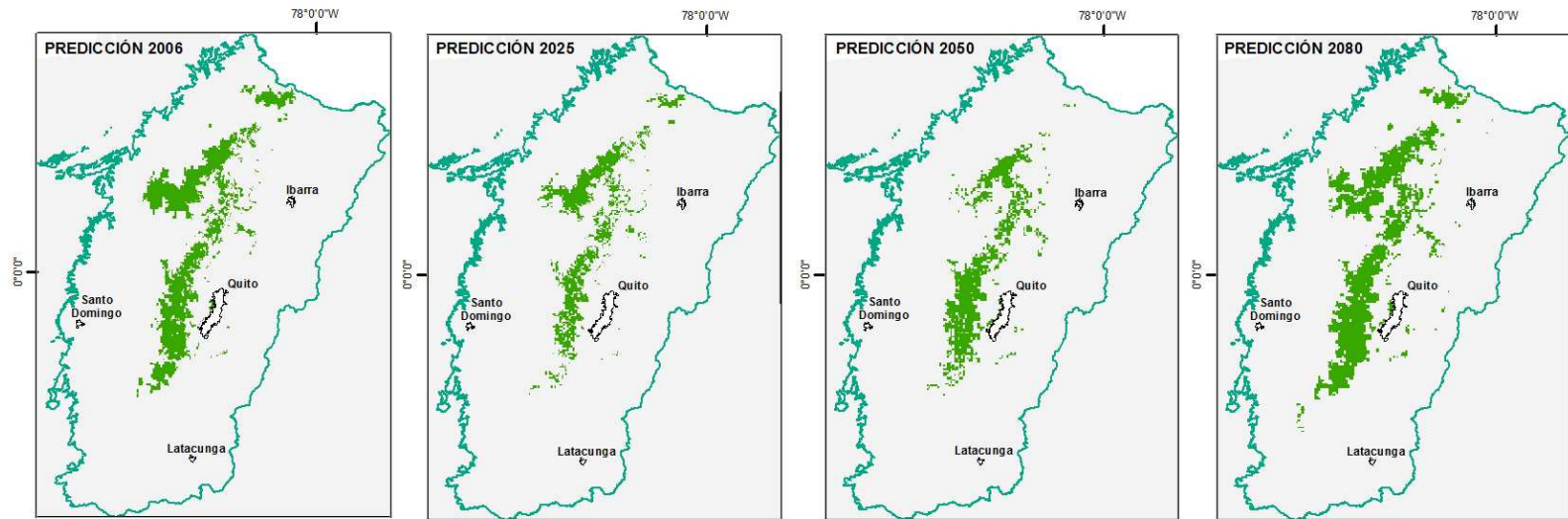
La tabla 10, indica las áreas de predicción en la zona de estudio.

Tabla 12. Comparación de superficies de predicciones futuras en la zona de estudio

Comparación de proyecciones en las áreas con vegetación	
Año	Área (km²)
2012	2219
2025	1335
2050	1533
2080	2740

En la figura 20, se muestra el mapa con las predicciones futuras para los años 2025, 2050 y 2080.

Mapas de Proyecciones



Mapa de ubicación



Leyenda

- Ciudad
- Área estudio
- Predicción

0 60 km

Comparación de proyecciones en las áreas con vegetación

Año	Área (km ²)
2006	2219
2025	1335
2050	1533
2080	2740

Fig. 20. Mapa de predicciones para los años 2025, 2050 y 2080

CAPITULO 6: Discusión y Conclusiones

6.1 ANÁLISIS DE LA METODOLOGÍA

Este tipo de análisis metodológicos, que integran transversalmente el componente espacial, permiten identificar zonas especiales de manejo geográficamente localizadas, para impulsar la conservación estratégica. Como en este caso, propone la conservación de un ave emblema de la región y endémica del Ecuador. En otras palabras, esta metodología hace evidente, por medio del análisis de la distribución espacial de variables y factores que determinan un hábitat, la identificación de áreas clave sobre las cuales direccionar medidas de acción en favor de la conservación de especies de interés.

Sin embargo es clave identificar el alcance de los modelos de predicción. Así, considerar el limitante de escala es relevante para llevar a cabo una correcta interpretación de los resultados. La resolución del producto se define en función de la resolución de los insumos. Para el caso de estudios que involucran variables bioclimáticas, climáticamente se modela la distribución de la especie en base a variables de 1Km de resolución (caso de variables bioclimáticas WorldClim). Posteriormente, se integran estas predicciones con un mapa de formaciones vegetales de 80m de resolución.

Existen dos instancias en la predicción, donde la resolución espacial juega un papel relevante. En primer lugar se realiza una predicción con variables bioclimáticas y de altitud, con una resolución de 1Km. Esto nos permite conseguir información acerca de la distribución potencial del hábitat proveniente de variables. Esta primera proyección es necesaria traslaparla, en una segunda instancia, con el mapa de formaciones vegetales que posee una resolución de 80m con la finalidad de conocer espacialmente las zonas de bosque donde potencialmente está la especie.

6.2 ANÁLISIS DE LOS MODELOS

En base a los rasters se confirmó la presencia de la especie *Eriocnemis nigrivestis* (Bourcier & Mulsant, 1852) en el área de estudio donde coinciden las tres predicciones presentes, corresponde a tan solo un 3,5% las zonas donde hay vegetación característica para la alimentación de la especie como son remanentes de bosques de Neblina Montano, Siempreverde Montano Alto, Siempreverde Montano Bajo, y Siempreverde Piemontano. De este 3,5%, el 48,2% está en bosques protectores y el 17,7% en áreas del PANE. Lo que significa que aproximadamente el 34,2% restante se encuentra sin ninguna categoría de protección. Por ende, estas zonas se llegan a constituir como áreas de alta relevancia para ser adheridas a zonas de protección ya sea del PANE, áreas Protegidas Municipales o en Bosques Protectores. En la figura 18, se aprecian las zonas altas del valle de Intag y el sector de Chiriboga.

En la tabla 10, se presentan áreas de interés dentro de los bosques protectores, como son el bosque El Chontal, Cambugan, Paso Alto y otros; estas zonas no han sido registradas como lugares de avistamiento de la especie. Por tanto son áreas que sugieren llevar a cabo acciones de monitoreo.

Entre las conclusiones de este estudio se determina que este tipo de modelos son de alta importancia para la planificación de la conservación de zonas relevantes para la sobrevivencia de especies endémicas como el *Eriocnemis nigrivestis* (Bourcier & Mulsant, 1852). Así, del análisis de la relación entre el mapa de distribución potencial del hábitat modelado para el presente, y el mapa de formaciones vegetales se concluye que el 3,3% (ver tabla 7) del hábitat potencial de la especie se encuentra intervenido. Estas áreas se presentan como zonas potenciales para analizar la pertinencia del diseño y creación de corredores, como conectores de zonas fragmentadas.

6.3 ANÁLISIS DE LA SITUACIÓN ACTUAL DEL HÁBITAT DE LA ESPECIE

Analizando la situación del hábitat del *Eriocnemis nigrivestis* (Bourcier & Mulsant, 1852) en zonas donde históricamente se registran avistamientos del ave, y confirmadas con este estudio, entre estas, las estribaciones occidentales del volcán Guagua Pichincha y la cordillera del Toisan, se evidencia la pérdida de la conectividad de estas áreas por fragmentación del hábitat original de la especie. Por ello, con este estudio se determina

la importancia de formar corredores biológicos que reconecten estas zonas con otros parches de bosque vecinos para reconstruir el hábitat de esta ave emblema para la región.

Se encuentra relevante analizar el interés de las comunidades locales ubicadas en áreas de distribución potencial de la especie, para desarrollar proyectos de conservación con desarrollo sostenible con la finalidad de reconstruir en la realidad conectividad entre distintas zonas de interés para la persistencia de la especie y la conservación de su hábitat.

Son éstas razones las que están llevando a que en el corto plazo los datos de esta investigación sean de mucha utilidad para la ubicación de zonas de investigación y planeamiento de proyectos encaminados a enfocar las tareas de búsqueda, conservación, capacitación, socialización y promoción de la especie por parte de la Fundación Aves y Conservación.

BIBLIOGRAFÍA

Araujo, M. & Guisan, A. (2006). Five (or so) challenges for species distribution modelling. *Journal of Biogeography*, vol. 33(10), pp. 1677 - 88.

Aves&Conservación . (2011). *Aves & Conservación, Birdlife en Ecuador*, viewed 10 de junio del 2011.

Baquero, F, Sierra, R, Ordoñez, M, Tipán, L, Espinosa, M, Rivera, MB & Soria, P. (2004). La vegetación de los Andes del Ecuador, EcoCiencia, Quito, Ecuador.

BirdLife-International. (2011). Species factsheet: *Eriocnemis nigrivestis.*, viewed 07/07/2011.

Blas, BdP. (2009). Ecoinformático aplicada a la Conservación: Simulación de efectos del cambio global en la distribución de la flora de Andalucía, Doctor thesis, Universidad de Granada.

Bleiweiss, R & Olalla, MP. (1983). Notes on the ecology of the Black-breasted Pubbleg on Volcán Pichincha, *Wilson Bulletin*, vol. 95, pp. 656-61.

Brown, JH. (1984). On the relationship between abundance and distribution of species, *American Naturalist*, vol. 124(2), pp. 255 - 79.

CGIAR-CSI. (2004). *Consortium for Spatial Information*.

Collar, NJ, Gonzaga, LP, Krabbe, N, Madroño-Nieto, A, Parker III, TA & Wege, DC. (1992). Threatened birds of the Americas, ICBP, Cambridge, Reino Unido.

Chen, G & Peterson, A. (2002). Prioritization of areas in China for biodiversity conservation based on the distribution of endangered bird species, *Bird Conservation International*, vol. 12, pp. 197-209.

Del Hoyo, J, Elliot, A & Sargatal, J. (s/a). Barn-owls to Hummingbirds, in L Edicions (ed.), *Handbook of the birds of the world*, Barcelona, España, vol. 5.

Elith, J & Leathwick, J. (2009a). The contribution of species distribution modeling to conservation prioritization, in A Moilanen, KA Wilson & HP Possingham (eds), *Spatial conservation prioritization. Quantitative methods and computational tools.*, Oxford University Press, New York.

(2009b). Species Distribution Models: Ecological explanation and prediction across space and time, *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*, vol. 40, pp. 677-97.

Guisan, A & Thuiller, W. (2005). Predicting species distribution: offering more than simple habitat models, *Ecology Letters*, vol. 8, pp. 993-1009.

Hijmans, RJ, S.E.Cameron, Parra, JL, Jones, PG & Jarvis, A. (2005). *Very high resolution interpolated climate surfaces for global land areas*

Hutchinson, EG. (1978). Erratum: An introduction to population ecology, *Science*, vol. 202, p. 1269.

Hutchinson, GE. (1957). Concluding remarks, *Cold Spring Harbor Sump. Q. Biol.*, vol. 22, pp. 415 - 27.

Jahn, O. (2007). Rediscovery of Black-breasted Puffleg *Eriocnemis nigrivestis* (Bourcier & Mulsant, 1852) in the Cordillera de Toisan, north-west Ecuador, and reassessment of its conservation status, *Cotinga*, vol. 29, pp. 31-9.

Jahn, O, Guevara, E, Valarezo, JC & Martínez-Encalada, C. (2008). Evaluación Ecológica rápida y verificación de campo de la presencia del Zamarrito Pechinegro (*Eriocnemis Nigrivestis*) en hábitat potencial en la IBA de Mindo y estribaciones occidentales del Volcán Pichincha, Aves&Conservación, Quito, Informe Final.

Jahn, O & Santander, T. (2007). Species Action Plan Black-breasted Puffleg, Aves & Conservación BirdLife in Ecuador, Quito.

Jahn, O & Santander, T. (2008), Species Action Plan: Black-breasted Puffleg, Quito, Ecuador.

Josse, C, Cuesta, F, Navarro, G, Barrena, V, Cabrera, E, Chacon-Moreno, E, Ferreira, W, Peralvo, M, Saito, J & Tovar, A. (2008). Ecosistemas de los Andes del Norte y Centrales. Bolivia, Colombia, Ecuador, Perú y Venezuela. *Secretaría General de la Comunidad Andina, Programa Regional ECOBONA-Intercooperación, CONDESAN-Proyecto Páramo Andino, Programa Bioandes, EcoCiencia, NatureServe, IAvH-UNALM, ICAE-ULA, CDC-UNALM, RUMBOL SRL. LIMA.*

Lobo, J. (s/a), Es posible predecir la distribución geográfica de las especies basándonos en variables ambientales?. España.

Mateo, MRG. (2008). Modelos Predictivos de Riqueza y Diversidad vegetal. Comparación y Optimización de Métodos de Modelado Ecológico. Doctor thesis, Universidad Complutense de Madrid.

Naoki, K, Gómez, MI, López, R, Meneses, R & Vargas, J. (2006). Comparación de modelos de distribución de especies para predecir la distribución potencial de vida silvestre en Bolivia. *Ecología en Bolivia*, vol. 41, no. 1, pp. 65-78.

Pearman, PB, Guisan, A., Broennimann, O., y, Randin. C. F. (2008). Niche dynamics in space and time, *Trends in Ecology & Evolution*, vol. 23(3), pp. 149 -58.

Pliscoff, P & Fuentes-Castillo, T. (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, pp. 61-79.

Polechová, J, y, Storch, D. 2009.

Santander, T, Freire, J & Loo-Vela, S. (2009). Areas importantes para la Conservación de las Aves América. ECUADOR, in C Devenish, D Díaz Fernández, R Clay, I Davidson & I Yépez (eds), *Important Bird Areas Americas - Priority sites for biodiversity conservation*, BirdLife International, Quito, vol. BirdLife Conservation.

Soberón, J. (2007). Grinnellian and Eltonian niches and geographic distribution of species. *Ecology Letters*, vol. 10 (12), pp. 1115 - 23.

Souza, M, Giovanni, DR, M., S, Tim., S, P., B, R., P, D., C & V., P. (2009). .OpenModeller: a generic approach to species potential distribution modelling, *Geoinformatica*.

Wiens. J. J., y, Graham. C. H. (2005). Niche conservatism: Integración evolution, ecology, and conservation biology., *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*, vol. 36, pp. 519 -39.

Wilson, EO. (1988). The current state of biological diversity, in EO Wilson (ed.), *Biodiversity*, Nat. Acad. Press, Washington DC, pp. 3-18.

Páginas web

Carrión, JM. (2005), Un ave y una flor para Quito.

<http://www.juanmanuelcarrion.com/index.php?option=com_content&view=article&id=73:un-ave-y-una-flor-emblematica-para-quito&catid=22:logros&Itemid=115>.

ANEXOS

Anexos 1. Tabla de superficies de la distribución potencial del hábitat del zamarrillo pechinegro vs bosques protectores en la zona de estudio.

Bosque Protector	Predicción	
	Área (Km ²)	%
Toachi Pilatón	127	14,75
Mindo Nambillo	92	10,69
Cuenca río Guayllabamba (Area 1), Área de drenaje de los ríos Umachaca, Quebrada Afilana, Márgen izq. del río Pichán, Alambi Alto y Tandayapa	62	7,20
Intag (El Chontal)	23	2,67
Paso Alto	19	2,21
Cambugan	18	2,09
Maquipucuna	12	1,39
Zarapullo	12	1,39
Santa Rosa y Yasquel	11	1,28
Toaza	6	0,70
Subcuenca alta del río Saloya y Quebrada San Juan	5	0,58
Cerro Golondrinas	4	0,46
Animanga o Taminanga Grande	4	0,46
San Carlos de Yanahurco	4	0,46
Flanco Oriental de Pichincha y Cinturón Verde de Quito	3	0,35
Pajas de oro	2	0,23
Hacienda Piganta	2	0,23
La Paz y San José de Quijos	2	0,23
Cuenca Rio Guayllabamba (Area 2), Área entre el río Tulumbí y márgen derecha del río Alambi.	1	0,12
Cushnirumi (San Alberto)	1	0,12
Siempre Verde	1	0,12
Siempre Vida	1	0,12
Tanlahua y Ampliación	1	0,12
Subcuenca alta del río Cinto	1	0,12
Subcuenca alta de los ríos Pichán y Verde Cocha	1	0,12
Neblina Sur	0	0,00
Río Lelia	0	0,00

Chilcapamba y Aromapamba	0	0,00
Tanti	0	0,00
El placer y la Florida	0	0,00
Estación Científica río Guajalito	0	0,00
Hacienda Aguallaca	0	0,00
Mojanda Grande	0	0,00
Pishashi	0	0,00
San Francisco	0	0,00
Ilaló	0	0,00
Cascada de Peguche	0	0,00
Umbría	0	0,00
Zuleta y Anexo Cía. Ltda.	0	0,00
Jerusalén	0	0,00
Cebu	0	0,00
Subcuencas altas de los ríos Antisana, Tambo, Tamboyacu y Pita	0	0,00
Parte de los Cerros de los Llanganates	0	0,00
Mirador de las Golondrinas	0	0,00
Los Cedros	0	0,00
Peribuela, Imantag	0	0,00
Lomas Corazón y Bretaña	0	0,00
San Segundo	0	0,00
Hondón Chamizo	0	0,00
La Balsa	0	0,00
Concepción de Saloya	0	0,00
Caracha	0	0,00
Tambo Grande La Florida	0	0,00
Milpe Pachijal	0	0,00
Subcuenca del río Blanco - Pimampiro	0	0,00
Mashpi	0	0,00
Morocumba	0	0,00
Predio Pacay	0	0,00
Chamizo Minas	0	0,00
TOTAL	415	48,20