



UNIVERSIDAD INTERNACIONAL DEL ECUADOR

ESCUELA DE BIOLOGÍA APLICADA

**TRABAJO DE TITULACIÓN PARA LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE
BIÓLOGO AMBIENTAL**

TEMA:

“Caracterización de áreas para probable reintroducción de la Rana Cohete de la Villaflora
(*Hyloxalus jacobuspetersi*) dentro del Distrito Metropolitano de Quito”

AUTOR:

DIEGO ALEJANDRO CARRIÓN BARRAGÁN

DIRECTOR:

PABLO SALVADOR MSc.

QUITO - ECUADOR

2017

CERTIFICACIÓN

Yo, Diego Alejandro Carrión Barragán, con cédula de identidad N°171758059-9, declaro bajo juramento, que soy el autor exclusivo de la presente investigación, que ésta es original, auténtica y personal mía, que no ha sido presentado anteriormente para ningún grado o calificación profesional y que se ha consultado la bibliografía detallada.

Todos los efectos académicos y legales que se desprenden de la presente investigación, serán de mi sola y exclusiva responsabilidad. Además, cedo los derechos de propiedad intelectual a la Universidad Internacional del Ecuador para que sea publicado y divulgado en internet, según lo establecido en la Ley de Propiedad Intelectual, reglamento y leyes.



Diego Alejandro Carrión Barragán.

C.I.:

Yo, Pablo Salvador Puig declaro que, en lo que personalmente conozco, el señor Diego Alejandro Carrión Barragán es el autor exclusivo de la presente investigación siendo responsable exclusivo tanto de su originalidad y autenticidad como de su contenido.



Pablo Salvador Puig MSc
Director del Proyecto de Grado

AGRADECIMIENTO

Este trabajo es el resultado de un gran esfuerzo, su culminación ha sido gracias a la colaboración y apoyo de varias personas a las cuales me gustaría agradecer por formar parte de esta importante etapa de mi vida.

Agradezco a Dios, por permitirme cumplir con uno de mis más anhelados sueños, mi obtención de título como biólogo ambiental, brindándome sabiduría para superar con el mayor de los éxitos las dificultades que se me presentaron en el camino.

A mis padres, hermanos y abuelos, por su apoyo constante durante toda mi vida y mi trayectoria universitaria, hicieron todo para que yo pudiera lograr mis sueños, su motivación me levantaba para seguir adelante cuando sentía que el camino se me terminaba, a ustedes por siempre mi corazón y agradecimiento.

A mi Emiliano Carrión, porque su presencia ha sido y será siempre el motivo más grande que me han impulsado para lograr esta meta.

A mi novia compañera de vida por su comprensión y tolerancia por su apoyo y ánimo que me brinda día con día para alcanzar nuevas metas, tanto profesionales como personales.

A mi director de tesis Pablo Salvador y mi director de carrera Esteban Terneus, por sus conocimientos, experiencia, paciencia y motivación, han aportado con una parte su capacidad para guiar mis ideas ha sido un aporte invaluable.

Al Biólogo Andrés Merino por transmitirme su conocimiento y ayuda para realizar mi tesis.

A mis amigos Biólogos, por su sincera amistad y apoyo absoluto en cualquier reto que nos planteamos durante nuestra etapa universitaria. Sus consejos precisos, compañía

incondicional y buena actitud hacia la vida, a pesar de los momentos difíciles que hemos pasado, han hecho que salgamos triunfantes en lo que nos propusimos, haciendo nuestros sueños una realidad.

DEDICATORIA

Le dedico mi tesis a mi amada madre quien con sus palabras de aliento no me dejaba decaer para que siguiera adelante y siempre sea perseverante y cumpla con mis ideales y sus consejos para hacer de mí una mejor persona.

A mi amado hijo Emiliano Carrión por ser mi fuente de motivación e inspiración para poder superar cada día más y así poder luchar para que la vida nos depare un futuro mejor.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

PORTADA	
CERTIFICACIÓN.....	I
AGRADECIMIENTOS.....	II
DEDICATORIA.....	IV
ÍNDICE DE CONTENIDOS.....	V
ÍNDICE DE FIGURAS	VIII
ÍNDICE DE TABLAS.....	IX

RESUMEN.....	1
ABSTRACT	2

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN.....	1
1.1. Introducción.....	1
1.2. Justificación.....	3
1.3. Antecedentes científicos.....	5
1.4. Objetivos.....	7
1.4.1. Objetivo General.....	7
1.4.2. Objetivos Específicos.....	7
1.5. Hipótesis.....	7
1.5.1. Hipótesis Alternativa.....	7
1.5.2. Hipótesis Nula.....	8

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO.....	9
2.1. Generalidades de los anfibios.....	9
2.2. La Rana Cohete de la Villaflores (<i>Hyloxalus jacobuspetersi</i>).....	9

2.2.1. Generalidades de la especie – Etimología.....	9
2.2.2. Distribución	10
2.2.3. Características anatómicas.....	11
2.2.3. Hábitat y biología.	12
2.2.4. Estatus de conservación de la especie.	13
2.3. Amenazas naturales y antropogénicas.....	13
2.3.1. El riesgo volcánico.	14
2.4. Características del Volcán Cotopaxi.....	15
2.4.1. Características generales y ubicación geográfica.	18
2.4.2. Drenajes volcánicos.....	22
2.5. Modelamiento de distribución de especies.....	23
2.5.1. Generalidades.	23
2.5.2. Enfoque de Máxima Entropía MAXENT.....	26
2.5.3. Aplicaciones de modelos de distribución Maxent.....	27

CAPÍTULO III

METODOLÓGIA.....	29
3.1. Alcance de la investigación.	29
3.2. Caracterización sectorial del área de estudio.....	29
3.2.1. Área de Estudio.	29
3.3. Modelamiento Predictivo para la Rana Cohete de la Villaflora.....	33
3.3.1. Datos de presencia.....	33
3.3.3. Variables ambientales.....	33
3.3.4. Modelamiento con software Maxent.....	35
3.3.5. Metodología para la elaboración de mapas potenciales.....	36
3.3.6. Metodología para elaboración de mapas de Peligros Naturales.....	40
3.3.7. Mapa con áreas probables para la reintroducción.....	40
3.3.8. Trabajo en Campo.....	40

CAPÍTULO IV

RESULTADOS	43
4.1. Registro de la actividad volcánica del Cotopaxi.	43
4.2. Resultados de modelamiento por enfoque de máxima entropía Maxent.	47
4.2.1. Selección de variables - UPGMA.....	47
4.2.2. Matriz de correlación.....	48
4.2.3. Variables seleccionadas.....	49
4.2.4 Validación estadística del modelo Maxent.....	50
4.2.5. Aplicación del modelo Maxent – Desarrollo de Mapas.	50
4.2.6. Verificación de sitios óptimos para la reintroducción de la especie <i>Hyloxalus jacobuspetersi</i>	62

CAPÍTULO V

DISCUSIÓN.....	65
5.1. Caracterización del riesgo de conservación endémica.	65
5.2. Evolución de los mapas de amenaza y afección.....	66
5.3. Efectos del material volcánico sobre los ecosistemas y medio ambiente.....	68
5.4. Modelamiento de especies Maxent.....	69
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.	72
LITERATURA CITADA.....	74
ANEXOS	78

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Mapa de distribución potencial de <i>Hyloxalus jacobuspetersi</i>	11
Figura 2. Rana Cohete de la Villaflora (<i>Hyloxalus jacobuspetersi</i>).....	12
Figura 3. Amenazas potenciales de una posible erupción volcánica.....	15
Figura 4. Mapa de mayor afectación por lahares y ceniza.	20
Figura 5. Mapa de mayor afectación por lahares y ceniza.	21
Figura 6. Variación de formación de glaciares.	22
Figura 7. Estrategia general de conformación de modelo de distribución	25
Figura 8. Mapa de vegetación del Distrito Metropolitano de Quito.	31
Figura 9. Mapa de vertientes y coordenadas de ubicación de cada punto dentro del DMQ.....	41
Figura 10. Zonas de peligro norte del volcán Cotopaxi.	45
Figura 11. Resultados UPGMA zonas de reintroducción en DMQ – datos estandarizados.....	47
Figura 12. Resultados UPGMA zonas de reintroducción DMQ – datos no estandarizados.....	48
Figura 13. Mapa de distribución de <i>Hyloxalus jacobuspetersi</i> en Ecuador Maxent.....	50
Figura 14. Mapa de localización de especie <i>Hyloxalus jacobuspetersi</i> en el DMQ.	51
Figura 15. Mapa de peligros por movimientos en masa en el DMQ.....	52
Figura 16. Mapa de peligros volcánico por caída de ceniza en el DMQ.....	53
Figura 17. Mapa de peligros volcánicos por Lahares en el DMQ.....	54
Figura 18. Mapa de Cobertura Vegetal en el DMQ.	55
Figura 19. Mapa de Amenaza Potencial por Incendios en el DMQ.....	56
Figura 20. Mapa de Peligros Naturales en el DMQ.	57
Figura 21. Mapa de Vertientes en el DMQ.	58
Figura 22. Mapa Final de areas potenciales reintroducción de la especie <i>Hyloxalus jacobuspetersi</i> en el Distrito Metropolitano de Quito.	59
Figura 23. Mapa Final de areas potenciales reintroducción de la especie <i>Hyloxalus jacobuspetersi</i> y puntos de vertientes óptimos en el Distrito Metropolitano de Quito.....	60

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Impacto de eventos volcánicos sobre la vegetación y ecosistemas faunísticos.....	18
Tabla 2. Características Mapa de Movimientos en Masa	38
Tabla 3. Características Mapa de peligros volcánicos por caída de ceniza	38
Tabla 4. Características Mapa de peligros por Lahares	38
Tabla 5. Características Mapa de Cobertura Vegetal	39
Tabla 6. Características Mapa de Amenaza por incendio	39
Tabla 7. Características Mapa de Vertientes	39
Tabla 8. Presencia de ceniza mensual en los puntos de medición.....	44
Tabla 9. Matriz de correlación.....	48
Tabla 10. Eficacia del Modelo Maxent	50
Tabla 11. Lugares no óptimos visitados.	62
Tabla 12. Lugares óptimos visitados.	63

RESUMEN

El presente proyecto investigativo pretende establecer la caracterización de áreas para una probable reintroducción de la Rana Cohete de la Villaflora (*Hyloxalus jacobuspetersi*) dentro del Distrito Metropolitano de Quito, tomando en cuenta como base de análisis la variabilidad del riesgo de conservación de la especie en la zona de la gran cascada de Pita, por efectos la actividad eruptiva del volcán Cotopaxi. La investigación comprende la realización de un modelamiento de nicho ecológico para la especie mediante el uso del programa MAXENT, después de lo cual se generan una serie de mapas con los sitios que cumplen con las características bióticas y abióticas, tomando en cuenta características de peligro simplificado, datos de distribución, peligros por movimientos de masa, peligros volcánicos, cobertura vegetal, amenaza potencial por incendios, peligros naturales y mapa de vertientes. Para su estudio se recopilaron datos de 121 registros de individuos, los mismos que tienen la ubicación georeferenciada de la especie, información facilitada por la Escuela de Biología de la Pontificia Universidad Católica del Ecuador bajo el proyecto Balsa de Sapos, y se utilizaron 19 variables bioclimáticas de Worldclim en base de MAE 2013. De este análisis se desprende que para la reintroducción potencial existe una superficie óptima de $653,9 \text{ km}^2$, correspondientes al 15,1% de la superficie del Distrito Metropolitano de Quito y priorizando que el mayor peligro encontrado es aquel ocasionado debido a la proximidad a volcanes en actual actividad permanente. Después de verificar en campo las áreas optimas resultantes del análisis, el territorio se reduce a un 9% debido a que por una parte las zonas clasificadas como hábitat óptimo se han degradadas por el crecimiento urbano.

Palabras Clave: Riesgo de conservación, Rana Cohete de la Villaflora, Actividad volcánico - sísmica, características bióticas y abióticas, modelo Maxent.

ABSTRACT

The present investigation project pretends to establish a field characterization for a probably reintroduction of the Villaflora's Rocket Frog (*Hyloxalus jacobuspetersi*) inside the Quito Metropolitan District, considering the conservation risk variability by effects of the eruptive activity of the Cotopaxi volcano. The investigation corresponds to the realization of an ecological niche model for the specie using the MAXENT software. Through the information obtained with MAXENT, using ArcGIS software is developed a series of maps specifying the places that accomplish the biotic and abiotic characteristics, taking into consideration the simplified danger information, distribution data, mass movement danger, volcanic danger, vegetal coverage, fire potential danger, natural danger and slope maps. The study was made from the registry of 121 individuals, with their respective georeferenced location, information obtained from the Biology School of the Pontificia Universidad Católica del Ecuador, under the project Balsa de los Sapos, using as well 19 Worldclim variables from MAE 2013. As result, the research shows that there is about 653,9 km^2 of potential area for the introduction of the specie, about 15,1% of the Distrito Metropolitano de Quito area, and prioritizing that the greatest danger found is the proximity to volcanoes in current permanent activity. After verifying the optimal areas, the territory is reducing to 9% because, the areas classified as optimal habitat have been degraded by an increasing of urban density.

Keywords: Conservation risk, Villaflora's Rocket Frog, Volcano activity, Seismic activity, Biotic and abiotic characteristics, Maxent Model.

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

1.1. Introducción.

Extinción significa la desaparición de una especie o de un grupo taxonómico superior tal como una familia, un orden, etc., con lo que queda truncada una línea filogenética, es decir, un proceso evolutivo. Bajo esta percepción, la extinción es tan característica en el desarrollo de la vida en la Tierra como la propia especiación (Baena et al., 2008).

Baena et al. (2008), además menciona que, a pesar de la enorme cantidad de especies que hoy día existen, son solo una pequeña representación de los organismos que han vivido en la Tierra a lo largo de 3500 millones de años. La problemática de la extinción no es reciente, ya que, durante el lapso de tiempo, anteriormente enunciado, han existido varios tipos de extinción. A escala espacial, las extinciones pueden ser locales cuando ocurren en una zona, país, o continente, y globales cuando se presentan en todo el planeta.

Las causas desencadenantes de las extinciones pueden ser de tipo biológico, geológico. Las causas biológicas (competencia, endemismo) actúan principalmente en la extinción de fondo, mientras que las extinciones en masa suelen estar desencadenadas por causas geológicas (tectónica de placas que genera cambios de corrientes, cambios climáticos, vulcanismo y otros fenómenos) (Molina, 1996).

Los anfibios están entre los grupos de animales terrestres más conspicuos de los trópicos. Están distribuidos en los páramos, bosques, ríos y pantanos, cumpliendo roles importantes para el funcionamiento de los ecosistemas pues, como consumidores y presas, constituyen un eslabón intermedio en la cadena de flujo de energía y nutriente (Ron, Guayasamín, & Menéndez, 2011). El hábitat de los anfibios, es muy diverso, va desde el agua, bajo tierra, en la hojarasca del suelo, arbustos y helechos del sotobosque y dosel. En el Ecuador, se han descrito aproximadamente 580 especies de anfibios (Amphibia Web

Ecuador, 2016), los cuales se encuentran en diversos ecosistemas, exceptuando las nieves perpetuas (Valencia & Garzón, 2011).

Las diferentes especies de anfibios son claves para el ecosistema en el que habitan, sin embargo, son sensibles y vulnerables a cambios drásticos en el ambiente y su composición. Desde los años 80 se reporta una alta disminución en las poblaciones de anfibios a nivel mundial y Ecuador no es la excepción, ya que alrededor de 44 especies han presentado una disminución en sus poblaciones o han desaparecido entre los últimos 20 a 40 años. La mayoría de las especies que han presentado declinación en las poblaciones presentan larvas acuáticas entre sus características de reproducción; una de las causas principales relacionadas a esta disminución es la destrucción y fragmentación de los hábitats, así como a una enfermedad infecciosa del hongo quitridio (Valencia et al., 2011).

La pérdida de la biodiversidad desencadenada por las actividades humanas ha alcanzado una magnitud que podría ser comparable con eventos de extinción masiva, según lo indica el portal Amphibia Web Ecuador (2016), como el que exterminó a los dinosaurios al final del período cretácico. El Ecuador está entre los países más afectados por las declinaciones y extinciones poblacionales de anfibios pues se ubica en tercer lugar a nivel mundial en número de especies amenazadas. Casi un tercio de los anfibios ecuatorianos están en peligro de extinción y algunas especies, como el emblemático sapo Jambato *Atelopus ignescens*, podrían estar extintas (Ron et al., 2011).

Se sabe que no existe una causa principal a la que se pueda vincular las declinaciones y extinciones de las poblaciones de anfibios; estas estarían respondiendo a uno o varios factores, dependiendo el caso. Los principales son: el calentamiento climático, la contaminación, la destrucción de hábitat, el exceso de radiación ultravioleta, la presencia de patógenos y la presencia de especies introducidas que han desplazado o depredado a especies nativas. Todas estas causas están relacionadas directa o indirectamente relacionadas con las actividades humanas.

1.2. Justificación.

Hyloxalus jacobuspetersi fue considerada como una especie numerosa en el pasado y presentó una amplia distribución a lo largo de la vertiente occidental de los Andes. En las últimas décadas la especie ha sufrido una drástica disminución en la mayoría de sus poblaciones, y muchas de ellas han desaparecido. Durante algunos años, varios investigadores han centrado sus esfuerzos en localizar poblaciones de esta especie dentro de los lugares donde anteriormente se reportaba su presencia, sin embargo, estas búsquedas no tuvieron éxito, lo cual los llevo a pensar que *Hyloxalus jacobuspetersi* se encontraba extinta (Carvajal et al., 2013).

Sin embargo, en el año 2007, este escenario cambió ya que una pequeña población fue redescubierta en la Gran Cascada del Rio Pita, ubicada en el Valle de los Chillos, Parroquia de Pintag, Cantón Quito, Provincia de Pichincha a una altitud 2938 msnm (latitud 0°25'47,64", y longitud 78°24'37,39"). Este aporte constituye una valiosa oportunidad para investigar las causas de su dramática disminución, así como para plantear acciones que permitan salvar a la especie de la extinción.

Cabe destacar que, las poblaciones de la Rana Cohete de la Villaflora (*Hyloxalus jacobuspetersi*), están presentes dentro de zonas de riesgo, en el caso que ocurrir una posible erupción del volcán "Cotopaxi", y debe tomarse en cuenta que en la actualidad dicha especie se encuentra dentro de los estatus de conservación de peligro crítico (EN) según la Lista Roja UICN. Esta caracterización de la especie por parte de la UICN se debe a que su área de ocupación es probablemente menor a los 10 km², su distribución está fuertemente fragmentada, existe una continua disminución en la ocurrencia de la especie en su área de ocupación, en la extensión y calidad de su hábitat, el número de locaciones posibles para su ubicación y el reducido número de individuos maduros de la especie.

De acuerdo a la información emitida por el Instituto Geofísico de la Escuela Politécnica Nacional, el Volcán Cotopaxi en el año 2015 presentó una reactivación en su actividad eruptiva, tras 138 años de permanecer en un estado inactivo. Es importante mencionar que, el volcán Cotopaxi es considerado como uno de los volcanes más peligrosos del mundo debido a la frecuencia de sus erupciones, el coloso ha presentado cinco grandes periodos eruptivos: desde 1532 hasta 1880 registrado como su último episodio eruptivo (Instituto Geofísico Escuela Politécnica Nacional, 2015).

El peligro del volcán Cotopaxi radica en que sus episodios eruptivos pueden dar lugar a la formación de enormes lahares (flujos de lodo y escombros), los cuales son el producto de flujos piroclásticos o flujos de lava, que provocan la fusión de diversos sectores del casquete glaciar del volcán; una vez formados los lahares, estos pueden alcanzar grandes volúmenes y cubrir extensas áreas. Los lugares bajos, cercanos a las orillas de los ríos Pita, Salto, Santa Clara y San Pedro, se encuentran dentro de las zonas de mayor peligro, con una alta probabilidad de ser afectados por los flujos de lodo y escombros (lahares), en el caso de ocurrir una erupción; estas zonas han sido categorizadas como “zonas de mayor peligro” en base a los depósitos históricos del flujo lahárico de la erupción del 26 de julio de 1877 y otros flujos ocurridos durante las erupciones en el pasado (Minard et al., 2004).

El presente estudio busca, estimar áreas que cumplan con las condiciones necesarias para la posible reintroducción de poblaciones de la especie dentro del Distrito Metropolitano de Quito, mediante la aplicación de un modelo predictivo desarrollado a través del programa MAXENT y mediante un análisis espacial con mapas utilizando el sistema de información georeferenciada ARGIS, con la finalidad de aportar con información para acciones de conservación que se apliquen para la especie en el caso de que exista riesgo de pérdida o fragmentación de su hábitat natural, por una eventual erupción del volcán Cotopaxi.

Desde una perspectiva dentro de la funcionalidad ecosistémica de la especie *Hyloxalus jacobuspetersi*, cabe recalcar la importancia que tiene como parte crucial en el balance natural y saludable del hábitat correspondiente. Dentro de la cadena alimenticia, tal

como lo apunta (Carrillo & Pavajeau, 2008), juega un papel primordial tanto como predador como presa, ayudando a sostener el delicado balance de la naturaleza, controlando especialmente las plagas provocadas por los insectos (u otros invertebrados), lo cual se traduce en una mejor protección sobre la propagación de enfermedades y el éxito de la agricultura.

De esta forma, el análisis situacional de las ranas y su población estimada es tomado en cuenta además como un “indicador natural”, ya que son las primeras especies en ser afectadas por situaciones ambientales estresantes, así que cuando sus poblaciones disminuyen, como es el caso de la rana cohete de la Villaflora (*Hyloxalus jacobuspetersi*), sirven como mecanismos de advertencia para otras especies. (Carrillo & Pavajeau, 2008).

La falta de información limita la capacidad para generar programas a gran escala, y como consecuencia las iniciativas propuestas en muchos casos tienen un éxito limitado. Para sobrepasar estas barreras de información los modelos de nicho para especies pueden actuar como una valiosa herramienta para determinar la distribución de especies poco estudiadas o con información limitada, y pueden ser de gran ayuda en la generación de información biológica no disponible. Los modelos de nicho son una herramienta empírica, robusta, repetible y fácil de utilizar, que pueden ayudar a identificar potenciales zonas a conservar o restaurar. Morales (2012). De esta manera nos sirve como herramienta para buscar la caracterización de áreas probables de reintroducción de la Rana Cohete de la Villaflora fuera de zonas de riesgos.

1.3. Antecedentes científicos.

A partir de una reseña histórica de la especie, la Rana Cohete de la Villaflora (*Hyloxalus jacobuspetersi*) es miembro del género *Hyloxalus* (Santos et al., 2014). Asignada previamente al género *Colostethus* por Rivero (1991) y Grant et al. (2006). Coloma (1995) ubicó a *Colostethus torrenticola* como sinónimo junior de *Colostethus jacobuspetersi*.

Antes de la revisión, que tenía 138 especies para el género *Colostethus*, se redujo a 18 especies, distribuidos posteriormente en dos familias *Dendrobatidae* y la recién establecida *Aromobatidae*. La rana Cohete de la Villaflora (*Hyloxalus jacobuspetersi*) es una especie de rana que forma parte de la familia *Dendrobatidae* del género *Colostethus*, posteriormente *Hyloxalus*.

Hyloxalus jacobuspetersi muestra registros de presencia desde los valles interandinos de Guayllabamba, Toachi, Chimbo y Cañar y en las estribaciones occidentales de la cordillera occidental de los andes en el Norte y Centro de Ecuador. Se encuentra en las provincias: Bolívar (1400-3800), Cañar (2840msn), Chimborazo (1500msn), Cotopaxi (2320-3500), Pichincha (2600-3280), Imbabura (Coloma, 1995). Por lo tanto, la especie puede estar distribuida entre los (1400 hasta 3800 msnm).

La Rana Cohete de la Villaflora fue abundante hasta la década de los 80 donde su número comenzó a declinar (la mayoría de sus poblaciones han desaparecido). En 1959 se menciona la presencia de la rana cohete en el Barrio Villaflora en la ciudad de Quito, sin embargo, nunca más fue reportado en este sitio. Actualmente este barrio es una zona urbanizada con pocos riachuelos y remanentes de vegetación natural. Sus registros en Quito, entre los años 1983 a 1989, provienen de sitios entre Chillogallo y San Juan, donde su población era abundante (Coloma, 1995).

Entre los datos más recientes se encuentran los registros de ausencia en el Bosque Protector Cashca Totoras, en la Provincia de Bolívar, donde su población era muy común y abundante, pero patógenos como el quitridiomycosis que se encontraron en otras especies de ranas como *Gastrotheca pseustes* (Bustamante et al., 2005), han ocasionado una reducción considerable de la especie. Desde el 2007 unos pocos individuos han sido encontrados en las cercanías de la gran cascada del Rio Pita (Carvajal et al., 2013).

En el 2012, el Concejo Metropolitano de Quito declaró a esta especie como emblemática del Distrito Metropolitano de Quito y encargó a la Secretaría de Ambiente, en conjunto con las organizaciones públicas, privadas y académicas, a emprender acciones

urgentes tendientes a fomentar la investigación, conservación y manejo de esta especie. Se han realizado ensayos de manejo ex situ en los programas Balsa de los Sapos de la Pontificia Universidad Católica del Ecuador y Arca de los Sapos del Centro Jambatu de Investigación y Conservación de Anfibios, y actualmente se mantienen unos pocos individuos fundadores (Coloma, 1995).

1.4. Objetivos.

1.4.1. Objetivo General.

- Caracterizar áreas para una probable reintroducción de la Rana Cohete de la Villaflora (*Hyloxalus jacobuspetersi*) dentro del Distrito Metropolitano de Quito, para determinar proyecciones fuera de sus zonas de riesgo.

1.4.2. Objetivos Específicos.

- Realizar un modelamiento de nicho para la especie *Hyloxalus jacobuspetersi* mediante el uso del programa Maxent.
- Generar un mapa con los sitios que cumplan con las características bióticas y abióticas similares a su hábitat natural para reintroducción de la rana cohete de la Villaflora dentro del Distrito Metropolitano de Quito.
- Verificar el estado de conservación de los sitios resultantes del modelamiento con alta probabilidad de reintroducción de la Rana Cohete de la Villaflora dentro del Distrito Metropolitano de Quito.

1.5. Hipótesis.

1.5.1. Hipótesis Alternativa.

Las áreas predictivas del modelamiento cumplen con las características biofísicas de los registros históricos para la reintroducción de la Rana Cohete de Villaflora (*Hyloxalus jacobuspetersi*) dentro Distrito Metropolitano de Quito.

1.5.2. Hipótesis Nula.

Las áreas predictivas del modelamiento no cumplen con las características biofísicas de los registros históricos para la reintroducción de la Rana Cohete de Villaflora (*Hyloxalus jacobuspetersi*) dentro Distrito Metropolitano de Quito.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Generalidades de los anfibios.

Los anfibios constituyen el primer grupo de vertebrados verdaderamente terrestres, sin embargo, se pueden desarrollar en los dos medios: acuático, en su etapa juvenil (renacuajos) y en medio terrestre es su etapa adulta. La palabra ‘amphibios’, según lo expresa Wieckowski et al. (2003), es una palabra griega que significa ‘dos vidas’. Los anfibios se caracterizan por su piel permeable sin escamas, con glándulas que los mantienen húmedos y protegen de virus, hongos, bacterias (Valencia et al., 2011)

Hay tres órdenes de anfibios el primer grupo incluye los sapos y las ranas (orden Anura), el segundo es el de las salamandras y tritones (orden Caudata), y el tercero es el de los cecilidos, que se parecen a las lombrices y que se encuentran solamente en los países tropicales (orden Gymnophiones) (Wieckowski et al., 2003).

Los anfibios son ectotermos, es decir, que la temperatura de sus cuerpos es igual a la temperatura del ambiente, incluyendo además que todos los anfibios utilizan su piel húmeda para respirar como una de sus características principales. Wieckowski et al. (2003) concluyen que aproximadamente entre el 70 al 80 por ciento de los cuerpos de los anfibios están hechos de agua. Si una fuente de agua está sucia y contaminada, eso afecta mucho a la sobrevivencia de los anfibios que viven en esta agua.

2.2. La Rana Cohete de la Villaflora (*Hyloxalus jacobuspetersi*).

2.2.1. Generalidades de la especie – Etimología.

Su nombre específico deriva del latín *Jacobus* en honor a James A. Peters, uno de los primeros recolectores de la especie, ex Curador de Herpetología del National Museum of Natural History y un estudioso destacado de la herpetofauna ecuatoriana, según lo afirma inicialmente Rivero (1991).

En la actualidad existe un escaso registro de la rana cohete de la Villaflora, por cuanto ha existido muy poca investigación sobre la misma y una mínima estructuración de datos debido a que fue un anuro de poca permanencia en el medio natural para su estudio. Esta ranita pequeña (3 cm) fue descubierta en el Barrio Villaflora en mayo de 1959 y se la encontraba en Quito antes de que empiece el acelerado crecimiento urbano.

La herpetóloga Ecuatoriana Ana Armendáriz, de la Escuela Politécnica Nacional, y el entonces estudiante de biología, Luis Coloma, la vieron por última vez en Chillogallo, en 1983. Se la creía extinta, pero en el 2007 el investigador británico Morley Read redescubrió una muy pequeña población remanente en las cercanías del Valle de los Chillos, cerca de Quito. Los científicos de la Iniciativa Balsa de los Sapos, liderados por Coloma (1995), realizaron inmensos esfuerzos para criar en laboratorio a varios renacuajos, cinco de los cuales sobrevivieron hasta llegar a ser adultos.

No obstante, su reproducción requiere de ensayos cautelosos con las condiciones apropiadas pues son ranas muy sensibles a cambios de la temperatura y humedad. Se mantienen en un cuarto frío a una temperatura de alrededor de 12 grados centígrados. Lo cierto es que hasta la presente no se ha logrado su reproducción. Si se lo lograra tal evento reproductivo, estos ejemplares son los candidatos ideales para ser reintroducidos a zonas naturales dentro del Distrito Metropolitano de Quito.

2.2.2. Distribución

La distribución geográfica de la especie se encuentra en elevaciones entre 1500-3800 m en los valles interandinos de Guayllabamba, Toachi, Chimbo y Cañar, además según Coloma (1995) en las estribaciones occidentales de los Andes en el norte y centro de Ecuador. Anteriormente se conocían más de diez poblaciones, pero en la actualidad solo se ha documentado la supervivencia de una.

Las regiones naturales donde fue registrada esta especie son el bosque montano occidental, páramo y el matorral interandino, de acuerdo a la figura 1.

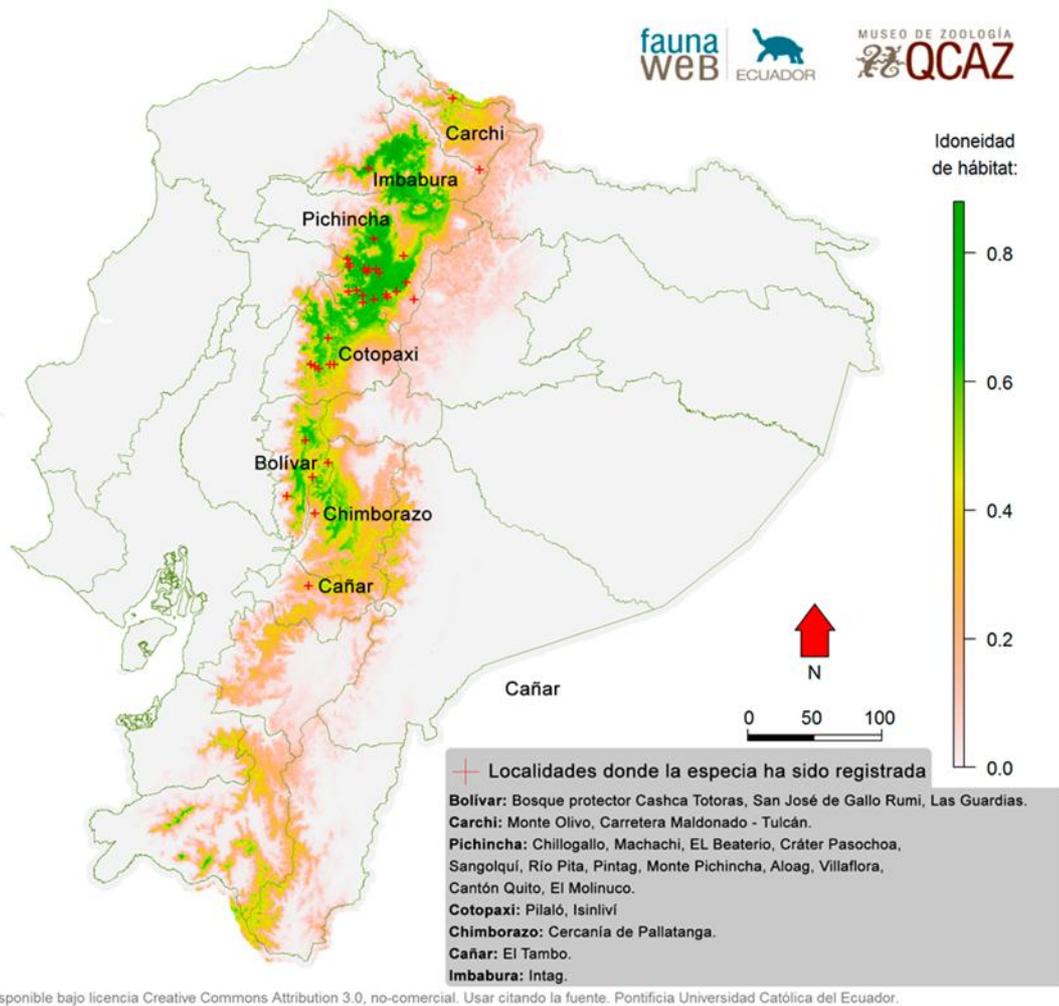


Figura 1. Mapa de distribución de la especie *Hyloxalus jacobuspetersi* en el Ecuador.

(Pontificia Universidad Católica del Ecuador, 2016)

2.2.3. Características anatómicas

Su identificación corporal, según registro realizado por (Coloma, 1995), es:

- Machos: Longitud Rostro-cloacal rango = 19.3 – 25.1 mm; n = 23.
- Hembras: Longitud Rostro – cloacal Promedio = 26,1 mm (rango 22.3 – 29,5); n = 28



Figura 2. Rana Cohete de la Villaflora (*Hyloxalus jacobuspetersi*)

(Ron, Guayasamín, & Menéndez, 2011)

En su aspecto es similar a *Hyloxalus pulchellus* por tener una línea oblicua lateral completa y carecer de dos marcas discretas (algunos especímenes de *Hyloxalus pulchellus*) en la región gular-pectoral y dos puntos ventrales en la base de los brazos. Se distingue de *Hyloxalus pulchellus* por la ausencia de discos expandidos en los dedos de manos y pies.

En cuanto a su coloración, posee un dorso café pálido con un tinte verdoso y marcas cafés rojizas difusas; línea oblicua lateral blanca; línea blanca en el labio superior; abdomen anaranjado rojizo con puntos blancos o un patrón reticulado difuso; garganta y pecho con flecos blancos dispersos sobre un fondo anaranjado pálido; superficies ventrales de muslos, región anal y antebrazos rojos pálidos; testículos blancos (Figura 2).

2.2.3. Hábitat y biología.

En cuanto al hábitat y biología de la rana cohete de la Villaflora, según lo especifica Coloma (1995), es una especie diurna que habita en áreas abiertas artificiales y bosques montanos. Se las encuentra en el borde de acequias, canales de riego y riachuelos pequeños. Los machos transportan a los renacuajos sobre su espalda hacia pequeños riachuelos o pozas marginales en riachuelos. Un macho fue observado transportando cuatro renacuajos.

Con respecto a su historia natural, la especie de la rana cohete de la Villaflora son ranas diurnas encontradas en acequias, canales de irrigación y junto a riachuelos. Habita

en la montaña y bosques de niebla y prefiere pequeños arroyos en las zonas de vida de Bosque Húmedo Montano Bajo y Bosque Húmedo Montano. En ellas la precipitación media anual es 1000–2000mm y 500–1000mm respectivamente; la temperatura media anual es de 12 a 18 ° C en el Bosque Húmedo Montano Bajo y 7–12 °C en el Bosque Húmedo Montano.

Además, Coloma (1995) provee un sumario de la especie que incluye datos de vocalizaciones, distribución y ecología, incluyendo además un audio espectrograma del canto, en conjunto con el sumario realizado por Stuart et al. (2008) que incluye una foto, un mapa, datos de rango geográfico, población, hábitat y ecología, amenazas, conservación y citas bibliográficas.

Desde la misma perspectiva, Almendáriz y Orcés (2004) proveen datos de ecología y de distribución en Quito y Lloa, para finalmente, el Concejo Metropolitano de Quito en el año 2012 declarar a esta especie como emblemática de la ciudad.

2.2.4. Estatus de conservación de la especie.

Hyloxalus jacobuspetersi se encuentra categorizada como una especie en peligro crítico según la UICN, ya que a pesar de que tenía un rango de distribución amplio y era localmente abundante, la mayoría de sus poblaciones se han extinto. En la actualidad solo se conoce una población relictual en un valle cercano a Quito.

Los registros más recientes de Quito, provienen de sitios entre Chillogallo (1983) y San Juan (1989), en donde eran previamente muy abundantes. Bustamante et al. (2005) publicaron datos de su ausencia en el Bosque Protector Cashca Totoras (provincia de Bolívar), donde solía ser una rana muy común.

2.3. Amenazas naturales y antropogénicas.

Las afectaciones por catástrofes naturales como la erupción del volcán Cotopaxi y las amenazas antropogénicas como la pérdida y destrucción del hábitat pone a la especie *Hyloxalus jacobuspetersi* en estado crítico para su conservación dentro del Distrito Metropolitano de Quito.

Otras amenazas son la severa pérdida y fragmentación de hábitat terrestre y acuático, deforestación, agricultura, ganadería, uso de pesticidas, presencia de truchas en los riachuelos. Actualmente, desde el 2007 unos pocos individuos han sido encontrados en La Gran Cascada del Río Pita.

En 2008 una población relictual fue encontrada en los alrededores de Quito, según lo indica Ron et al. (2011). La extinción de sus poblaciones podría estar relacionada con el calentamiento global y patógenos. Otras amenazas para *Hyloxalus jacobuspetersi* son la pérdida severa de hábitat, deforestación, agricultura, ganadería, desastres naturales por presencia cercana de actividad volcánica, quema y asentamientos humanos.

2.3.1. El riesgo volcánico.

La afección de ecosistemas, incluyendo las especies inmersas de fauna y flora, por actividad volcánica cercana, se basa en un parámetro inicial indicado a través de la medida de riesgo volcánico. Aguilera Ortiz & Toulkeridis (2005) indican que el peligro volcánico representa la posibilidad de que un fenómeno volcánico, de carácter destructivo, pueda ocurrir en algún momento del futuro mediato o inmediato.

Cárdenas (2008) agrega en términos generales que, las erupciones volcánicas afectan a la biosfera en función de sus características específicas. No puede decirse que unas u otras tipologías eruptivas causen un daño mayor en el entorno, pero sí que sus efectos alcancen un mayor o menor radio de acción.

Así las erupciones efusivas tendrán como máximo riesgo la emisión de fuentes y coladas fluidas de lava que afectarán a la vegetación de forma puntual, bien por el paso directo de la lava sobre ella, bien por los incendios forestales derivados de las altas temperaturas que se irradian desde los flujos lávicos. Salvo en tasas muy altas de emisión de lava, las coladas afectan a extensiones de terreno de unos centenares de metros de anchura y algunos miles de longitud (Cárdenas, 2008).

En erupciones explosivas, la emisión de flujos piroclásticos, el desencadenamiento de avalanchas y la caída de ceniza van a ser los eventos que causen un mayor daño en la cobertura vegetal y faunística. Erupciones en las que se emiten

columnas de varios kilómetros de altura, la formación de aerosoles puede dar lugar a la presencia de lluvia ácida, con lo que los resultados nocivos afectarán a un territorio mucho más amplio, comúnmente de carácter regional o en grandes erupciones de carácter global (Cárdenas, 2008).

La dispersión de la ceniza por los vientos dominantes, va a ser un factor crucial a la hora de delimitar áreas de impacto, y también de evaluarlo zonalmente. De una forma o de otra los efectos de las erupciones van a depender tanto de su dinámica, como de las características de la vegetación y ecosistemas afectados, así como de circunstancias locales que pueden disminuir o acrecentar dichos efectos, concluye Cárdenas (2008).

2.4. Características del Volcán Cotopaxi.

Como parte de la naturaleza magnífica de liberación de energía por parte de una erupción volcánica, se puede estar expuesto a una serie de amenazas exponenciales, de entre las que se puede nombrar los sismos volcánicos, emisión de gases, flujo de lava, domos de lava, flujos piroclásticos, lluvia de ceniza y piroclastos, flujos de lodo y escombros (Lahares) y avalanchas de escombros, cada uno detallados dentro de la figura 3.

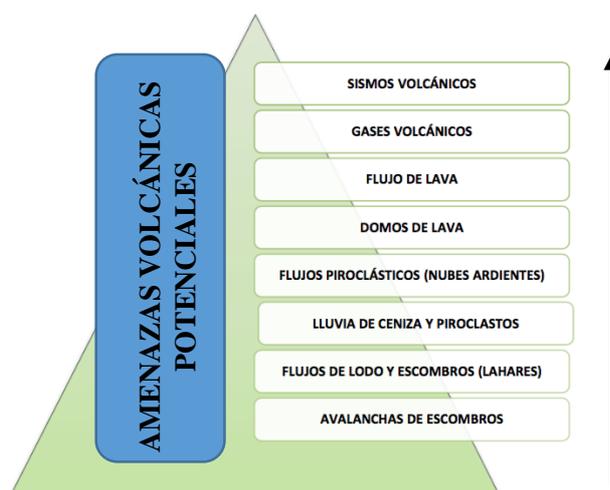


Figura 3. Amenazas potenciales de una posible erupción volcánica.

(Secretaría de Gestión de Riesgos, 2008)

- **Sismos Volcánicos.** La gran mayoría de volcanes casi siempre presentan actividad sísmica, aun cuando se encuentren “dormidos” o en periodos de calma. Esta actividad sísmica, tal como lo expone la Secretaría de Gestión de Riesgos (2008) suele estar representada por la ocurrencia de unos pocos sismos diarios, que pueden ser solamente detectados mediante una red de sismógrafos instalada en el volcán. Sin embargo, en las semanas o meses que preceden a una erupción y durante la misma, normalmente ocurre un importante aumento en el número y tipo de sismos localizados en las cercanías o bajo el cono del volcán.
- **Gases Volcánicos.** Antes, durante y después de una erupción volcánica es común detectar un notable aumento en la cantidad y tipo de gases emitidos por un volcán. Tales gases son de origen magmático y consisten principalmente de vapor de agua; sin embargo, siempre existen también cantidades variables de otros gases que pueden resultar peligrosos para los seres vivos, tales como SO₂ (dióxido de azufre), HCl (ácido clorhídrico), CO₂ (dióxido de carbono), o CO (monóxido de carbono). En las zonas donde soplan continuamente vientos fuertes, estos gases se dispersan y diluyen rápidamente; no obstante, en depresiones y partes bajas con poco viento, estos gases se pueden acumular y alcanzar concentraciones letales. (Secretaría de Gestión de Riesgo, 2008).
- **Flujos de Lava.** Una lava que hubiere llenado el cráter del volcán en análisis y que empiece a derramarse por sus bordes, lo hará por las partes más bajas del mismo. Es así que se puede prever que los flancos circundantes de las faldas del volcán podrían ser afectados por estos fenómenos. Una vez fuera del cráter, una colada de lava podría provocar fácilmente la fusión de partes del glaciar del volcán, sin embargo, dada su baja velocidad y limitada extensión, la fusión del glaciar sería un proceso lento y poco eficaz. (Secretaría de Gestión de Riesgo, 2008)
- **Domos de Lava.** En las erupciones volcánicas caracterizadas por bajos índices de explosividad, se emiten importantes volúmenes de lavas con diferente grado de fluidez, dando lugar a la formación de domos, fuentes de lava y coladas. Las coladas de lava generan un impacto directo de destrucción total sobre las

formaciones vegetales y animales que encuentran en su camino. Como los flujos lávicos se desplazan por las laderas de los edificios volcánicos y se encauzan en áreas topográficas deprimidas, son los ecosistemas que se localizan en vaguadas y hondonadas los que sufren con mayor intensidad los efectos de los derrames lávicos. (Secretaría de Gestión de Riesgo, 2008)

- **Flujos Piroclásticos.** Los flujos piroclásticos se asocian a erupciones volcánicas explosivas en las que se emiten magmas ricos en óxido de sílice SiO₂ aunque también pueden desarrollarse en erupciones freatomagmáticas (oleadas piroclásticas basales) con magmas básicos. Cárdenas (2008) enuncia que los flujos piroclásticos se desencadenan de forma súbita, se mueven ladera abajo a altísimas velocidades, encajándose en barrancos y vaguadas.
- **Lluvia de Cenizas y Piroclastos.** Las lluvias de ceniza y material piroclásticos se depositan sobre la superficie terrestre formando una elipse que puede extenderse por cientos de kilómetros en la dirección del viento, y cuyo espesor disminuye progresivamente desde el volcán. Así, según la Secretaría de Gestión de Riesgos (2008), la peligrosidad de este fenómeno estará controlada por el volumen de material emitido, la intensidad y duración de la erupción, la dirección y la velocidad del viento y la distancia al volcán.
- **Flujo de lodo y escombros.** Los lahares son flujos de fango que se generan como consecuencia de la fusión de la nieve o el hielo que cubre la cima de los grandes estratovolcanes, a favor de las altas temperaturas provocadas por la erupción, por las fuertes lluvias que acompañan a las erupciones, o por el derrame de lagos que ocupan cráteres de volcanes activos. (Secretaría de Gestión de Riesgo, 2008)

Tomando en cuenta las características anteriormente anunciadas sobre amenazas obtenibles a partir de la actividad volcánica exponencial, a continuación, en la tabla 1 se exponen los impactos que se provocarían sobre la vegetación y hábitats faunísticos, incluyendo ecosistemas de evolución y desarrollo de anfibios, de acuerdo a la magnificencia del área afectada, la intensidad del daño provocado, el daño causado y la duración de los efectos en la zona.

Tabla 1. Impacto de eventos volcánicos sobre la vegetación y ecosistemas faunísticos.

(Dale, Delgado – Acevedo y MacMahon, 2005)

Peligro Volcánico	Área Afectada	Intensidad del daño	Daño causado	Duración de efectos
Coladas volcánicas	Pequeña – media	Alta	Enterrada o quemada	Centurias
Caída de piroclastos	Grande	Alto – Bajo	Enterramiento	Décadas – años
Flujos piroclásticos	Pequeña	Alta	Enterramiento	Centurias – décadas
Avalanchas	Media	Moderado – bajo	Enterramiento	Centurias – décadas
Lahares	Media	Moderado - bajo	Enterramiento	Años

2.4.1. Características generales y ubicación geográfica.

El volcán Cotopaxi (5897 m) es el segundo volcán activo más alto del mundo; superado en gran medida por el volcán “Ojos del Salado” en Chile, que alcanza una elevación de 6,893 m y justifica su carácter de activo, por las fumarolas que descargan cerca de la cumbre a 6500 m de altura. (Ordóñez et al., 2013)

El Cotopaxi forma parte del Arco Volcánico Ecuatoriano y es considerado uno de los volcanes más peligrosos del mundo debido a la frecuencia de sus erupciones, su estilo eruptivo, su relieve y su cobertura glaciaria. Ordóñez et al. (2013) especifican que esta elevación se encuentra ubicada a 0°38' S y 78°26' O, sobre la Cordillera Oriental, a una distancia de 35 km al Noreste de Latacunga y de 45 km al Sureste de Quito. Su edificio forma un cono simétrico con pendiente de hasta 35° y un diámetro basal de 20km, mientras que el diámetro del cráter varía entre 800m en sentido Norte-Sur y 650 m en sentido Este-Oeste.

El Cotopaxi, de acuerdo a información recabada por el Instituto Geofísico de la Escuela Politécnica Nacional y el Instituto de Investigación para el Desarrollo (2005), es

considerado uno de los volcanes más activos del mundo representando una constante amenaza para aquellas poblaciones a sus alrededores e incluso aquellas con un menor grado de afectación por los fenómenos asociados. El volcán Cotopaxi ha presentado cinco grandes periodos eruptivos: 1532-1534, 1742-1744, 1766-1768, 1853-1854 y 1877-1880.

Se reconoce que han ocurrido aproximadamente trece (13) erupciones mayores dentro de estos cinco ciclos. Los fenómenos volcánicos asociados a todas esas erupciones fueron:

- Caídas de ceniza, pómez y escoria.
- Coladas de lava.
- Flujos piroclásticos.
- Flujos de lodo y escombros (lahares).

La peligrosidad del Cotopaxi radica en que sus erupciones pueden dar lugar a la formación de enormes lahares (flujos de lodo y escombros) que se desplazarían a una velocidad de hasta 100 km/hora y en caso de fusión del glacial se produciría 156'000.000 m³ de agua, que transitarían por drenajes vecinos a zonas densamente pobladas como el Valle Interandino entre Mulaló, Latacunga, y una parte del valle de los Chillos. (Instituto Geofísico de la Escuela Politécnica Nacional y el Instituto de Investigación para el Desarrollo, 2005)

Dentro de cierto rango, todos los episodios han dado lugar a fenómenos volcánicos muy peligrosos, y no hay duda de que episodios similares volverán a repetirse en el plazo de las décadas. Estos fenómenos volcánicos afectaron severamente las zonas aledañas al volcán, causando importantes daños a propiedades, especialmente al sector agropecuario, así como pérdidas de vidas humanas y crisis económicas regionales. (Instituto Geofísico de la Escuela Politécnica Nacional y el Instituto de Investigación para el Desarrollo, 2005)

Adicionalmente, la caída de ceniza producida durante una erupción del Cotopaxi podría afectar una parte muy significativa de la Sierra y la Costa del Ecuador. (Instituto Geofísico de la Escuela Politécnica Nacional y el Instituto de Investigación para el Desarrollo, 2005)

Como información cronológica importante, Andrade et al. (2005) enuncian que para el caso específico del lahar del 26 de junio de 1877, en el río Pita, se ha calculado que su velocidad variaba entre los 50 y 82 km/h en el curso alto, entre 20 y 30 km/h en el Valle de los Chillos, y su caudal pico entre 50000 y 60000 m³/seg. Tomando en cuenta un evento moderado de erupción, Andrade et al. (2005) indica que de formarse flujos piroclásticos, los lahares generados alcanzarían volúmenes importantes, aunque menores a los del 26 de junio de 1877. Por lo tanto, estos fenómenos representarían peligros directos para los centros poblados, especies vegetales y faunísticas, así como edificaciones ubicados a lo largo del cauce de los drenajes más importantes del Cotopaxi (ríos Pita, Cutuchi y Tamboyacu).

En el caso de un evento de grandes dimensiones en cuanto a la erupción volcánica, la ocurrencia de flujos piroclásticos daría lugar a la formación de flujos de lodo y escombros (lahares) de gran volumen, que producirían serios estragos en amplias zonas pobladas asentadas en las cercanías y a todo lo largo de los ríos Pita, Cutuchi y Tamboyacu, hasta por cientos de kilómetros aguas abajo, como se observa en la figura No. 4.



Figura 4. Mapa de mayor afectación por lahares y ceniza (Secretaria de Gestión de Riesgo 2017).

Finalmente, en el caso de eventos muy grandes, cuya probabilidad es del 10% e ocurrencia, los flujos piroclásticos se originarían por el colapso de la columna eruptiva, se desplazarían sucesivamente por varios o todos los flancos del volcán y tendrían un gran alcance, quizás de hasta 20-25 km desde el cráter. Peor aún, las erupciones de magmas riolíticos suceden en el Cotopaxi solamente luego de intervalos de varios miles de años, cuyas afecciones finales se evidenciaría en la figura No. 5.

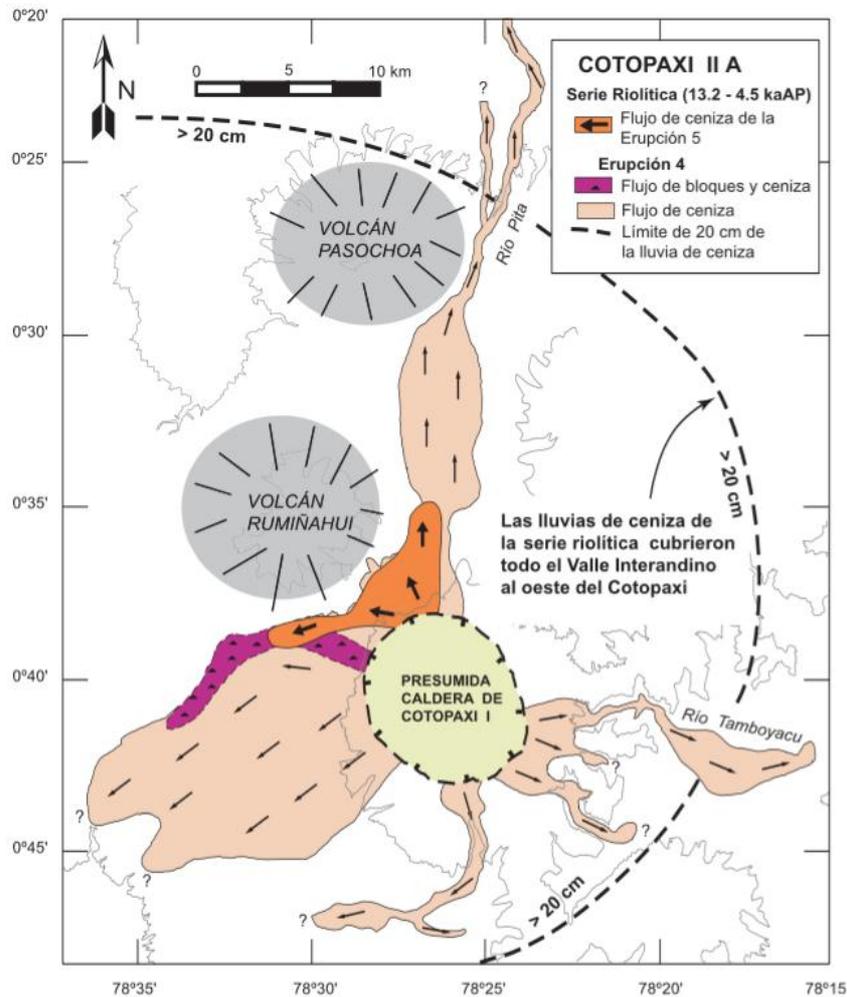


Figura 5. Mapa de mayor afectación por lahares y ceniza.

Como se evidencia en la figura 5, se presenta un mapa geológico simplificado de los depósitos asociados a dos de las erupciones riolíticas ocurridas en el Cotopaxi, en cuyos casos se alcanzaron una gran extensión de los flujos piroclásticos, principalmente en los cauces del río Pita, con una gran presencia de lluvias de ceniza en el sector.

2.4.2. Drenajes volcánicos.

El volcán tiene dos drenajes principales de los que nacen las vertientes que provienen de los glaciares producidos en la cumbre del mismo, señalados a continuación, de acuerdo a información expuesta en la figura 6:

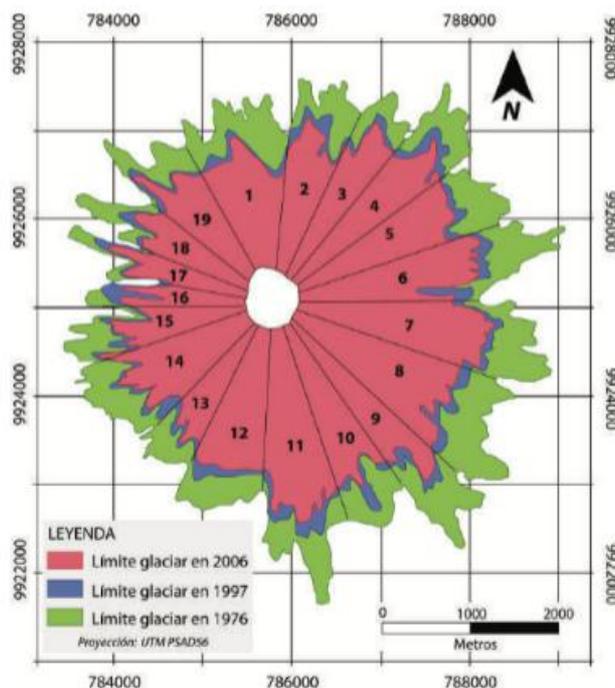


Figura 6. Variación de formación de glaciares. (Ordóñez, Samaniego, Mothes, & Schilling, 2013)

- **Drenaje Norte:** depende de las vertientes que nacen en los glaciares 1-6 (Figura 6), que a su vez conforman los ríos El Salto y Pita. Aguas abajo se unen con los ríos Santa Clara y San Pedro y sus aguas cruzan los poblados de Sangolquí, el Valle de los Chillos, Cumbayá y otros barrios del Distrito Metropolitano de Quito.
- **Drenaje Oriental:** sus aguas nacen en los glaciares 7 – 9 y conforman los ríos Tamboyacu y Tambo (Figura 6). La unión de estos torrentes forma otro río, también llamado Tambo, el cual cruza la Cordillera Oriental (Real) hasta desembocar en el río Jatunyacu, que es el afluente principal del río Napo. La

población más grande en esta región es Puerto Napo, aunque existen también otros asentamientos menores.

2.5. Modelamiento de distribución de especies.

2.5.1. Generalidades.

De acuerdo como lo indica Ibarra Montoya et al. (2012), el desarrollo de un modelado de nicho ecológico es uno de los procesos más óptimos existentes para especificar la distribución potencial y real, dentro del área geográfica, de las especies. Pearce & Lindenmayer, (1998); Ferrier, (2002) han sido algunos de los investigadores que hacen mayoritario uso de esta metodología en la toma de decisiones sobre conservación, restauración y contaminación ambiental.

Los modelos de distribución se pueden agrupar en dos clases principales, según lo afirma Carpenter et al. (1993): aquellos que simulan procesos interactivos entre los organismos y el ambiente, y aquellos que utilizan características propias del hábitat a analizar. El modelado del nicho ambiental se basa en el principio base que se debe coincidir con la distribución conocida de acuerdo a las características de las condiciones ambientales que son observadas previamente. En este proceso aparecen algoritmos computarizados, como el empleado por Maxent, a base de lo cual posteriormente se pueden construir mapas sobre la distribución potencial de las especies.

Los modelos de distribución de especies tienen un gran interés aplicado, según lo expone Ferrer Ferrer y Cabrera Oliva (2000), pues permiten evaluar cuantitativamente la posibilidad de que una población de plantas o animales ocupe un determinado lugar. La capacidad de predicción de estos modelos los ha convertido en una herramienta clave en temas relacionados con la gestión ambiental cuyos objetivos son variados:

- Diseño de reservas naturales.
- Restauración de poblaciones.
- Predicción de invasiones biológicas.
- Evaluación de impacto del cambio climático sobre la distribución geográfica de las especies.

Ferrer Ferrer y Cabrera Oliva (2000) exponen que su elaboración requiere modelos de abstracción tipo campo que representen la distribución espacial de las variables ambientales (capas) y un conjunto de puntos georeferenciados que indiquen donde está presente la especie.

Un punto importante a considerar dentro del proceso de modelamiento es la incertidumbre que se produce asociada a la misma. Es así que, haciendo referencia a lo propuesto por Ferrer Ferrer y Cabrera Oliva (2000), el grado de incertidumbre de que tales modelos reflejan la verdadera distribución de una especie en el espacio geográfico dependerá de varios factores:

- La naturaleza, la complejidad y exactitud de los modelos usados.
- La calidad de las capas de datos ambientales disponibles
- La disponibilidad de datos sobre la distribución de la especie que deben ser suficientes y confiables como datos de entrada del modelo.
- También hay que tener en cuenta la influencia de otros factores del nicho como barreras para la dispersión, la historia geológica o la competencia entre especie, que pueden impedir la ocupación actual de los nichos potenciales identificados por el modelo.

Con la finalidad de especificar el modelo se sigue una estrategia general de análisis, la misma que parte de la alimentación proveniente de modelos sobre variable ambientales y datos sobre la presencia de las especies, información con la cual se conforma el modelo de distribución, y desde la cual se evalúan campos específicos como la gestión y la planificación ambiental, el cambio climático y la distribución potencial de las especies, tal como se puede verificar en la figura 7.

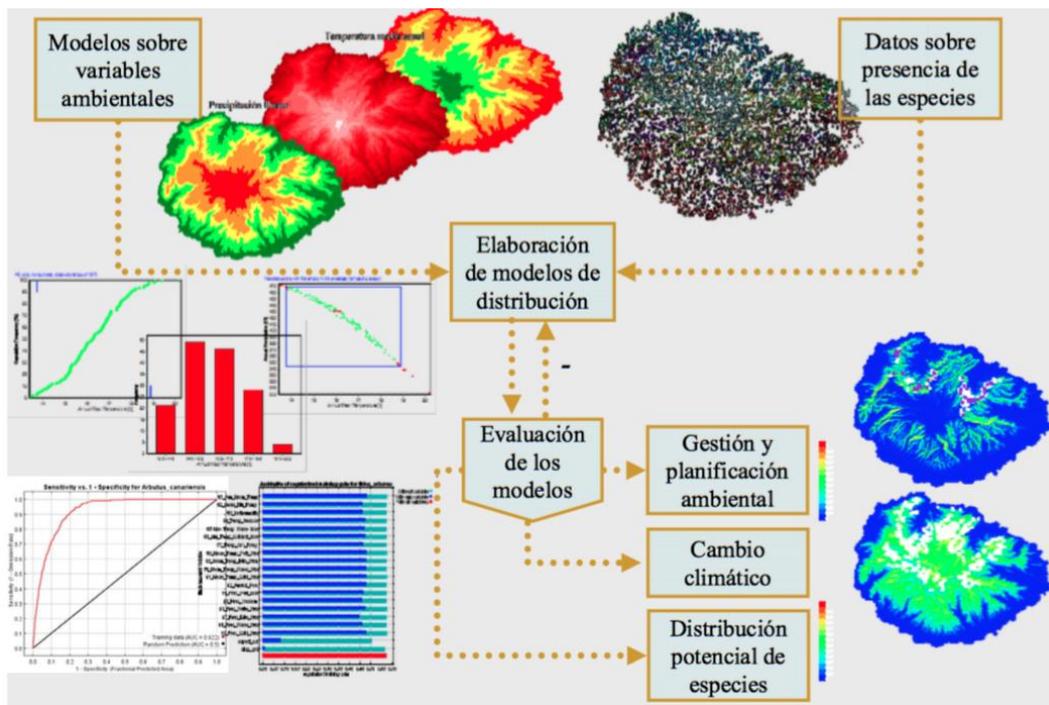


Figura 7. Estrategia general de conformación de modelo de distribución (Ordóñez, Samaniego, Mothes, & Schilling, 2013)

Hoy en día existen aproximadamente 16 modelos de este tipo que utilizan distintos métodos, y datos para desarrollar las predicciones. Dentro de estos modelos se encuentra el programa (software) Maxent, un programa multiuso basado en una aproximación estadística llamada máxima entropía que, acorde a Morales (2012), permite hacer predicciones utilizando información incompleta, en este caso datos de presencia u ocurrencia de la distribución potencial de una especie.

A pesar de que existe una amplia gama de modelos similares, Morales, (2012) apunta que Maxent posee tres ventajas por sobre los demás: Primero, se requiere solo datos de presencia, versus otros modelos que requieren datos de presencia y ausencia; segundo, su consistente buen desempeño en comparación con otros 16 métodos similares, especialmente con un número pequeño de muestras; y tercero, su disponibilidad gratuita.

2.5.2. Enfoque de Máxima Entropía MAXENT

La falta de información restringe la capacidad para crear programas a gran escala, y como consecuencia las iniciativas propuestas en muchos casos tienen un éxito limitado. De este modo, los modelos de distribución de especies son una herramienta empírica, robusta, repetible y fácil de utilizar, que pueden ayudar a identificar potenciales zonas a conservar o restaurar (Morales, 2012)

Es importante agregar que, tal como lo expone Morales (2012), la información disponible para realizar iniciativas de conservación en sitios degradados, o en aquellos compuestos por especies raras o escasamente estudiadas, muchas veces puede estar constituida por antecedentes incompletos. La dificultad expuesta por la disminuida cantidad de datos en ciertos casos puede expresar un problema de importante consideración en los resultados finales, sobre todo cuando se intenta trabajar con especies o ecosistemas pequeños, en cuyos casos la matriz pudo ser alterada de forma directa o indirecta por el ser humano.

Maxent, de acuerdo a información del desarrollador expuesta por Ferrer Ferrer y Cabrera Oliva (2000), es un método cuyo propósito general es caracterizar distribuciones de probabilidad cuya información está incompleta. Se basa en el principio de que la distribución estimada de una especie debe coincidir con la distribución conocida o deducida a partir de las condiciones ambientales dónde ha sido observada, evitando hacer cualquier suposición que no sea soportada por los datos.

El enfoque demostrado dentro de este software consiste en encontrar la distribución de probabilidad de entropía máxima, que es la más cercana a la distribución uniforme, condicionada por las restricciones impuestas por la información disponible sobre la distribución observada de la especie y las condiciones ambientales del área de estudio.

El método de Maxent no requiere datos de ausencia de la especie para elaborar el modelo; tal como indicó en ocasiones anteriores, usa los datos ambientales proporcionados por el área de estudio al completo como datos de pseudo-ausencia. Morales (2012) concluye que se puede utilizar variables tanto continuas como categóricas

y el producto es un pronóstico continuo que varía de 0 a 100 y se interpreta como un grado relativo de adecuación (en qué medida un lugar es adecuado para que la especie esté presente) (Ferrer Ferrer & Cabrera Oliva, 2000).

2.5.3. Aplicaciones de modelos de distribución Maxent.

Un modelo de distribución de especies es, según Morales (2012), básicamente una caracterización de las condiciones ambientales adecuadas para estas especies, que ayuda identificar donde están espacialmente ubicados los sitios que cumplen con los requisitos adecuados para las especies en estudio. Basándose en esta premisa, Morales (2012) enuncia que este método pueda ser utilizado en diversas áreas dentro de una amplia gama de problemáticas.

- **Conservación y restauración ecológica.** El uso de esta aplicación combinada con herramientas SIG ayuda en la generación de mapas de distribución actual y potencial de especies nativas, lo que resulta fundamental tanto para evaluar el estado de conservación de las especies, como para evaluar potenciales sitios para desarrollar iniciativas de conservación y restauración.
- **Modelamiento de efectos de cambio climático.** Maxent permite determinar o predecir cómo variaría la distribución de una especie o un grupo de especies frente a cambios ambientales de temperatura, humedad, entre otros (Morales, 2012). Por ejemplo, se podría evaluar cómo se vería afectada la producción frutal al ver restringida su área de distribución, o al contrario al expandirse su potencial distribución a causa de un aumento de la temperatura atmosférica.

También puede resultar útil, según Morales (2012) en determinar la distribución futura de plagas y como ésta podría extender su impacto a zonas no atacadas actualmente bajo cambios ambientales específicos. El cambio climático no solo puede afectar a las actividades económicas o de conservación de especies, sino que también a la salud humana.

- **Patrones de propagación de especies invasoras.** En este caso, Morales (2012) hace referencia que el uso de modelos de distribución podría ser utilizado para establecer las zonas del país más propensas a ser afectadas por plagas. Con esta información los muestreos preventivos pueden ser enfocados a zonas específicas haciendo más eficiente esta labor, con el consiguiente ahorro de recursos económicos.

CAPÍTULO III

METODOLÓGIA

3.1. Alcance de la investigación.

El alcance potencial del presente proyecto es mediano, ya que el medio de análisis e identificación del fenómeno de caracterización de áreas para una probable reintroducción de la Rana Cohete de la Villaflora (*Hyloxalus jacobuspetersi*) dentro del Distrito Metropolitano de Quito es relativamente extenso y sus características físicas no son singulares con respecto a otras configuraciones ecológicas y de hábitats circundantes, por lo que las herramientas de investigación deben ser óptimas para la recolección precisa de la información.

3.2. Caracterización sectorial del área de estudio

3.2.1. Área de Estudio.

El Distrito Metropolitano de Quito se encuentra dentro de la provincia de Pichincha en el norte de Ecuador. Es la jurisdicción formada sobre la base del Municipio de Quito y sus localidades cercanas, que forman una importante conurbación. El Distrito Metropolitano de Quito se divide en 8 administraciones zonales, las cuales contienen a 32 parroquias urbanas y 33 parroquias rurales y suburbanas. Se encuentra en las coordenadas 0°13'07"S 78°30'35"W a una altitud 2850 m s. n. m. (Secretaría de Seguridad y Gobernabilidad del Distrito Metropolitano de Quito, 2015).

El Distrito Metropolitano colinda con el cantón Rumiñahui, cuyo municipio se asienta en la localidad de Sangolquí. Su jurisdicción incluye buena parte del Valle de los Chillos, considerado un suburbio de la capital. El Valle de Tumbaco-Cumbayá y el valle semidesértico de San Antonio de Pichincha, ubicados al este y norte del centro de la capital, son considerados también barrios de la ciudad, aunque técnicamente están fuera de sus límites urbanos. Tiene una superficie 423055.42 hectáreas o 4230.6 km². (Secretaría de Seguridad y Gobernabilidad del Distrito Metropolitano de Quito, 2015).

Debido a las dinámicas propias de su paisaje natural y a las intervenciones antrópicas que modifican permanentemente su morfología y, por otro lado, al estar atravesado por 4 fallas tectónicas y rodeadas por 20 volcanes, el DMQ está expuesto a múltiples amenazas naturales y antrópicas que pueden afectar directamente a la población e infraestructuras localizadas en sectores vulnerables. (Secretaría de Seguridad y Gobernabilidad del Distrito Metropolitano de Quito, 2015).

Los movimientos en masa, las inundaciones y los incendios forestales son los fenómenos más recurrentes en el territorio. Sin embargo, las erupciones volcánicas y los sismos son otras manifestaciones de origen natural que se han presentado en ocasiones anteriores y que podrían volver a ocurrir (Secretaría de Seguridad, 2015).

El territorio del DMQ ocupa una depresión estrecha de menos de 20 kilómetros de ancho, asentada en medio de un complejo volcánico y marcada por fuertes irregularidades en su relieve, ocupando en su mayor parte la cuenca del Río Guayllabamba, que a su vez forma parte de la cuenca alta del Río Esmeraldas que desemboca en el Océano Pacífico. (Secretaría de Seguridad y Gobernabilidad del Distrito Metropolitano de Quito, 2015).

El sistema hidrográfico del DMQ está conformado por ríos de montaña, todos ellos afluentes al Río Guayllabamba (El Machángara, San Pedro, Monjas, Cinto, Mindo, Saloya, Blanco), que nacen en las estribaciones de los volcanes Atacazo, Illinizas, Rucu y Guagua Pichincha, Cotopaxi y Sincholagua, así como de las laderas occidentales y orientales de las cordilleras Oriental y Occidental. (Secretaría de Seguridad y Gobernabilidad del Distrito Metropolitano de Quito, 2015).

La cobertura vegetal en el DMQ se encuentra distribuida en la actualidad de la siguiente manera: bosque húmedo, bosque seco, arbustos húmedos, arbustos secos, herbazales húmedos, herbazal seco, mismas que se puedan observar en la Figura 8.

En el DMQ existen 27 áreas protegidas, bajo la siguiente clasificación: 25 zonas de Bosque y Vegetación Protectores y dos Reservas que pertenecen al Patrimonio Natural del Estado (PANE): la Reserva Geobotánica Pululahua y parte la Reserva Ecológica Cayambe Coca (aproximadamente un 2,5% de su área total). Las áreas protegidas se han clasificado de acuerdo con la orientación establecida en la Legislación forestal ecuatoriana que considera dos categorías: Las Áreas Naturales Protegidas Nacionales y los Bosques Protectores (Secretaría de Seguridad, 2015).

La Reserva Ecológica Cayambe Coca fue creada por el Decreto N°. 818 del 17 de noviembre de 1970; se encuentra en cuatro provincias: Imbabura, Pichincha, Napo y Sucumbíos, a una altitud que varía desde los 750 hasta los 5.790 metros sobre el nivel del mar, con precipitaciones anuales de 500 a 3.000 mm. La zona está conformada por el Bosque Nublado Andino y el Bosque Húmedo Tropical. Cuenta además con una amplia variedad en su fauna, ya que alberga 900 especies de aves, 110 especies de anfibios, 140 de reptiles y más de 200 especies de mamíferos. Posee un área total de 403.003 Has, de las cuales 9791 Has. se encuentran dentro de la jurisdicción del DMQ (Secretaría de Seguridad, 2015).

La Reserva Geobotánica Pululahua fue creada el 28 de enero de 1966, mediante el Decreto Supremo N°.194, fue el primer Parque Nacional en el Ecuador y en América del Sur para proteger este lugar único. El 17 de febrero de 1978, este Parque Nacional fue declarado Reserva Geobotánica a través de decreto ley N°. 2.559.

Esta declaración se debe a su singularidad geológica y la gran diversidad de flora y fauna andina, posee más de 2000 especies entre aves, mamíferos, e insectos de aspecto singular. “Pululahua” es una palabra quechua que significa “nube de agua” o niebla; este nombre es una buena descripción de esta caldera ya que casi todos los días por la tarde, el volcán está cubierto con neblina (Secretaría de Seguridad y Gobernabilidad del Distrito Metropolitano de Quito, 2015).

3.3. Modelamiento Predictivo para la Rana Cohete de la Villaflora

3.3.1. Datos de presencia

Para el estudio se recopilaron datos de 121 registros de individuos, los mismos que tienen la ubicación georeferenciada de la especie *Hyloxalus jacobuspetersi*, esta información es facilitada por la Escuela de Biología de la Pontificia Universidad Católica del Ecuador bajo el proyecto Balsa de Sapos. Con dicha información se procedió a transformar los registros de presencia de coordenadas en Sistema Universal Transverso de Mercator (UTM) al Datum World Geodetic System 1984 (WGS84), con la finalidad de cumplir con el formato aceptado por el programa Maxent.

Dentro de los modelos utilizados para la distribución de especies se encuentra el programa Maxent, mismo que se basa en una aproximación estadística llamada máxima entropía, tal como se mencionó anteriormente, la cual permite hacer predicciones utilizando información incompleta, como datos de presencia u ocurrencia de la distribución potencial de una especie. El programa utiliza básicamente una caracterización de las condiciones ambientales adecuadas para cada especie, esto ayuda a identificar donde están espacialmente ubicados los sitios que cumplen con los requisitos adecuados para las especies que van a ser estudiadas.

3.3.3. Variables ambientales

Se utilizaron 19 variables bioclimáticas de Worldclim en base de MAE 2013, información facilitada por la Pontificia Universidad Católica del Ecuador, debido a que este conjunto de variables tiene mayor significación biológica que utilizar los promedios de temperatura y precipitación de forma independiente (Buermann et al., 2008). Estas variables fueron analizadas estadísticamente para determinar el grado de influencia de cada variable sobre cada sitio de presencia de *Hyloxalus jacobuspetersi*; donde se intersecarán los puntos georeferenciados de presencia con cada una de las 19 variables bioclimáticas, de lo cual se

obtiene dos matrices de valores cuantitativos correspondientes a cada punto de presencia de la especie.

Tal como lo especifica Hijmans et al. (2005), las variables Bioclim son obtenidas de valores mensuales de temperatura y lluvias en orden para generar variables biológicas de mayor importancia. En este sentido, este tipo de variables son usadas con mayor frecuencia en el modelado de distribución de especies y técnicas de modelado ecológico relacionado. Estos datos pueden ser utilizados para crear mapas y modelar con Sistemas de Información Geográfica (SIG) tales como QGIS, DIVA-GIS, ARGIS, entre otros.

La codificación de las variables Bioclimáticas está dispuesta de la siguiente manera:

- BIO1 = Temperatura Media Anual.
- BIO2 = Rango medio diurno. (media mensual (temp. Máx – temp min)).
- BIO3 = Isothermalidad (BIO2/BIO7) (*100).
- BIO4 = Estacionalidad de la temperatura (desviación estándar *100)
- BIO5 = Máxima temperatura del mes más cálido.
- BIO6 = Mínima temperatura del mes más frío.
- BIO7 = Rango anual de temperatura (BIO5 – BIO6)
- BIO8 = Temperatura media del cuatrimestre más húmedo.
- BIO9 = Temperatura media del cuatrimestre más seco.
- BIO10 = Temperatura media del cuatrimestre más cálido.
- BIO11 = Temperatura media del cuatrimestre 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 cuatrimestre más húmedo.
- BIO17 = Precipitación del cuatrimestre más seco.
- BIO18 = Precipitación del cuatrimestre más cálido.

- BIO19 = Precipitación del cuatrimestre más frío.

El algoritmo de modelamiento calcula una envoltura bioclimática para la especie, pues busca una correlación de los datos bioclimáticos correspondientes con los datos puntuales de distribución de una especie y asume que el clima explica la mayor parte del nicho fundamental para la especie en un marco de relativa estabilidad climática (Beaumont et al., 2007).

Para descartar las variables que no tengan suficiente relevancia para el modelamiento, se utilizará dos tipos de análisis estadísticos, UPGMA por sus siglas en inglés (Método de agrupamiento de pares con la media aritmética no ponderada) y una Matriz de Correlación.

- **UPGMA.** Es un modelo que permite agrupar las variables en pares que muestren cierta similitud entre sí, para descartar las que sean muy parecidas evitando que afecten significativamente el resultado.
- **Matriz de Correlación.** Con el fin de encontrar la correlación entre todas las variables similares determinadas por el UPGMA, se construyó una matriz de doble entrada enlistando todas las variables horizontal y verticalmente, para formar una tabla donde cada variable se relaciona con las demás y se puede observar un valor numérico en cada relación. Si este valor se acerca a 1 significará que las dos variables están altamente correlacionadas y por tanto una de ellas debería ser descartada para el modelamiento. En el caso que el valor de la correlación se acerque a 0, las dos variables serán potencialmente útiles para el análisis.

3.3.4. Modelamiento con software Maxent

Primero se debe correr el modelamiento de Maxent utilizando las 19 variables bioambientales y los registros georeferenciados de la especie. Para luego utilizar mediante los análisis estadísticos de la matriz de correlación y UPGMA las variables que vamos a necesitar para la especie que en total son 13 variables bioambientales.

Se realiza el proceso en un total de diez veces para validar la eficiencia del modelo de tal manera que, en cada corrida el programa selecciona una muestra diferente con el 70% de los datos de presencia y evalúa la eficacia del modelo con el otro 30%. Todo este análisis y programación fue realizado con colaboración de A. Merino-Viteri para el software R (R Core Team, 2013).

Los modelos son evaluados mediante el estadístico del Área Bajo la curva ROC (Receiver Operating Characteristics) que se obtiene una vez se grafique los valores de sensibilidad contra los valores de especificidad de acuerdo a la cantidad de presencias o ausencias observadas coinciden con las predicciones del modelo.

Una vez que se grafica la curva ROC, se calculará el área bajo dicha curva AUC, por sus siglas en inglés (Área bajo la curva), la cual representa una medida simple de la precisión del modelo. La exactitud máxima de la prueba se refiere a un valor de AUC de 1 y la mínima de 0.5. Los valores entre 0.5-0.7 son considerados de baja precisión, los valores entre 0.7-0.9 indican que el modelo puede tener aplicaciones útiles y finalmente un valor mayor a 0.9 indica alta precisión (Burneo & Tirira. 2015).

3.3.5. Metodología para la elaboración de mapas potenciales

La metodología presentada para la elaboración del mapa de áreas potenciales para la reintroducción de la especie *Hyloxalus jacobuspetersi*, propone evaluar los Peligros Naturales dentro del Distrito Metropolitano de Quito según el esquema y la fórmula expuestos a continuación, para lo cual se debe expresar los factores o parámetros de análisis en diferentes mapas, y finalmente realizar la suma correspondiente con la imagen del modelo de Maxent. Los mapas que representan los factores se rasterizan y sumarán con la opción Spatial Analyst / Raster Calculator.

3.3.6 Metodología para elaboración de mapas de Peligros Naturales

Para la elaboración de un único mapa de peligros naturales se desarrolló una fórmula, en la que se tomaron en cuenta las capas de peligros naturales y se las multiplicaron por un

valor asignado de acuerdo al riesgo que estas representaban para el hábitat óptimo de la especie y se dividió para el número de peligros naturales expuestos. A cada capa de peligro natural se le asignó un valor entre 0,5 y 0,1, donde 0,5 indica mayor peligro, mientras el 0,1 menor peligro de afección al hábitat. La jerarquización del valor se dio de la siguiente manera:

0,5- Mayor probabilidad de que suceda el evento y ocupa mayor área de afectación por la facilidad de movimiento y esparcimiento de la misma. Acidifica el agua y la humedad del suelo.

0,4- Tomando en cuenta los cambios de uso de suelo se puede notar que la probabilidad de afectación de lugares óptimos para la especie se reduce anualmente.

0,3- Eventos más frecuentes, considerados catastróficos por su incidencia en la pérdida de infraestructura y el gran deterioro ambiental que producen.

0,2- Eventos menos frecuentes y más puntuales en función de la susceptibilidad que presenten los terrenos a este fenómeno tales como lluvias y sismos, como mecanismos de disparo.

0,1- Probabilidades bajas y asociadas directamente a la erupción de un volcán. Si este evento ocurre las otras variables también incrementan la probabilidad de ocurrir.

La fórmula se conformó de la siguiente manera:

$$PN = [(movimientos\ en\ masa * 0,2) + (peligro\ volcánico\ por\ caída\ de\ ceniza * 0,5) + (lahares * 0,1) + (cobertura\ vegetal * 0,4) + (amenazas\ por\ incendio * 0,3)] / 5$$

En el caso del presente estudio, para complementar el análisis de zonas para una posible reintroducción de la especie *Hyloxalus jacobuspetersi* establecieron los siguientes mapas:

- Mapa de movimientos en Masa

- Mapa de peligros Volcánicos por caída de Ceniza.
- Mapa de peligros por Lahares.
- Mapa de Cobertura Vegetal.
- Mapa de Amenaza por Incendio.
- Mapa de vertientes.
- Mapa final de zonas de reintroducción de la especie por Maxent.

Para la elaboración del mapa final se usó la siguiente ponderación: localización óptima = (Peligros Naturales + imagen Maxent con un umbral de 0,236) / 2. Para la valoración de cada uno de los mapas, se asignó valores de 0 = No Óptimo y 1 = Óptimo.

De esta forma las tablas de ponderación para cada uno de los mapas toman en cuenta las siguientes características, con su respectivo valor:

Tabla 2. Características Mapa de Movimientos en Masa

Susceptibilidad	Valor
Peligro bajo por movimientos en masa	1
Peligro moderado por movimientos en masa	1
Peligro alto por movimientos en masa	0
Peligro muy alto por movimientos en masa	0

Elaborado por: Diego Carrión.

Tabla 3. Características Mapa de peligros volcánicos por caída de ceniza

Descripción	Valor
Caída de ceniza de peligro nulo	1
Caída de ceniza de menor peligro	1
Caída de ceniza de alto peligro	0

Elaborado por: Diego Carrión.

Tabla 4. Características Mapa de peligros por Lahares

Descripción	Valor
Riesgo por lahares nulo	1
Lahar de menor riesgo	0
Lava piroclástica de menor riesgo	0
Lahar de mayor riesgo	0

Lava piroclástica de mayor riesgo	0
-----------------------------------	---

Elaborado por: Diego Carrión.

Tabla 5. Características Mapa de Cobertura Vegetal

Descripción	Valor
Aguas en cauces naturales	1
Aguas en cauces artificiales	1
Arbustos Húmedos	1
Arbustos secos	0
Bosques húmedos	1
Cultivos	0
Herbazales húmedos	1
Herbazales secos	0
Infraestructura	0
Pastos	0
Suelos desnudos	0
Suelos desnudos de origen Antropogénico	0
Vegetación cultivada - coníferas	0
Vegetación cultivada - latifoliadas	0
Vegetación en regeneración natural	1

Elaborado por: Diego Carrión.

Tabla 6. Características Mapa de Amenaza por incendio

Descripción	Valor
1 y 2 - menor susceptibilidad	1
3 y 4 - mayor susceptibilidad	0

Elaborado por: Diego Carrión.

Tabla 7. Características Mapa de Vertientes

Descripción	Valor
Agua potable	1
Abrevadero	1
Balneología	0
Hidroeléctrica	0
Industria	0
Piscícola	0
Riego	0
Termales	0
Uso doméstico	0

Elaborado por: Diego Carrión.

3.3.7. Mapa con áreas probables para la reintroducción

Con los valores obtenidos de AUC, que indiquen alta precisión, es decir con valores mayores a 0.9, se generará un modelo de distribución. Posteriormente para la elaboración del mapa con los posibles sitios para la reintroducción de *Hyloxalus jacobuspetersi*, se utilizó el programa de información geográfica ARGIS 10.2, en el cual se ingresaron las capas de Cobertura Vegetal del Distrito Metropolitano de Quito (Secretaria de Ambiente-DMQ, 2010), capa de Riesgos Naturales del Distrito Metropolitano de Quito (COE- metropolitano 2016), y capa de vertientes del Distrito Metropolitano de Quito (Senagua, 2016), conjuntamente con los resultados del modelamiento MAXENT .

3.3.8. Trabajo de Campo

Las visitas al campo se realizaron con el mapa de vertientes del Distrito Metropolitano de Quito, el mismo que cuenta con las coordenadas geográficas tal como se indica en la siguiente Figura 9.

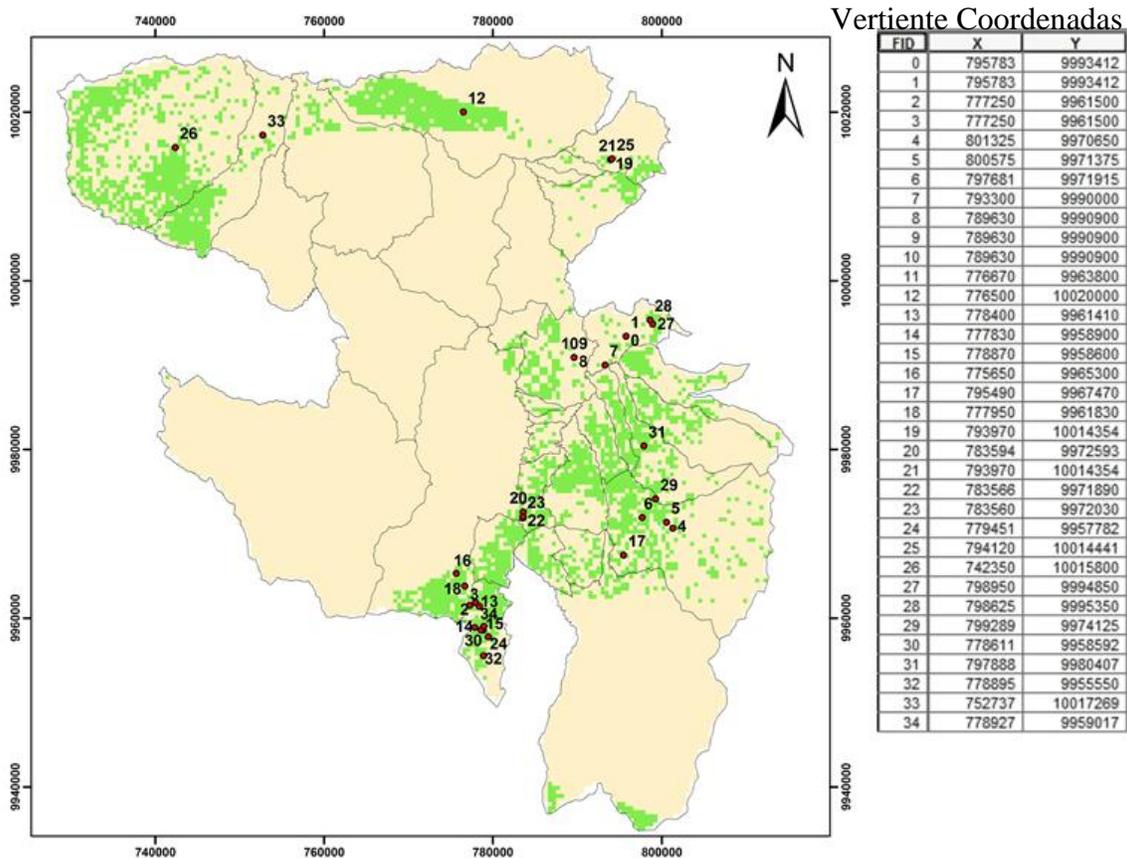


Figura 9. Mapa de vertientes con coordenadas de ubicación de cada punto dentro del DMQ. (Senagua, 2016)

Para contar con la ubicación y realizar las visitas a cada uno de los puntos de vertientes óptimos que se encontraban en el mapa, se introdujeron las coordenadas en un GPS. En cada sitio se realizó una evaluación de las condiciones ambientales necesarias para la posible reintroducción de la especie; para ello se verificaron los siguientes aspectos:

- Cobertura vegetal: comprende la vegetación natural que se encuentre en el lugar, ya sean bosques primarios o remanentes, bosques secundarios o remanentes, matorrales o pastizales.
- Vegetación ribereña: remanentes de bosques a lo largo de las vertientes.

- Vertientes: se consideran a cualquier a un cuerpo de agua en estado natural de tipo lentic o lotico.
- Crecimiento urbano: presencia de casas, edificios, carreteras.

Estos aspectos fueron valorados de acuerdo a porcentajes de precepción, es decir, en cada sitio se evaluó la presencia de cobertura vegetal, vegetación ribereña, vertientes y crecimiento urbano, asignando un porcentaje a cada uno de estos de acuerdo a la propia percepción.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS

4.1. Registro de la actividad volcánica del Cotopaxi.

De acuerdo a una revisión de la información proveniente de los tres últimos informes mensuales realizados, en los meses de julio, agosto y septiembre del año 2015. El Instituto Geofísico Escuela Politécnica Nacional (2015) indica que, durante Julio del 2015, se registraron en total 1337 eventos, en el mes de agosto se registraron en total 2127 eventos, mientras que en el mes de septiembre se presentaron 23955 eventos en el volcán Cotopaxi. De modo que, la actividad incrementada en el volcán desde el mes de Julio, se ha mantenido de forma continua y sostenida a lo largo del trimestre analizado. De forma instrumental, el Instituto Geofísico Escuela Politécnica Nacional (2015) apunta que se ha observado un incremento de la actividad sísmica caracterizada por un pico de eventos volcano-tectónicos.

De forma teórica, la mayor afección por parte del volcán Cotopaxi con respecto a los anuros determinados en la zona de la gran cascada de Pita sería una erupción final definitiva, también entra en consideración la participación de la caída de ceniza, con sus respectivos inconvenientes directos sobre la salud de los hábitats y las especies residentes en ellas.

De esta forma, Rivera et al. (2005) concluyen que trabajos relacionados con la exposición a la inhalación de ceniza volcánica en modelos animales indican un aumento de los niveles de fibrinógeno en plasma y un incremento en el porcentaje de leucocitos polimorfo nucleares, principalmente eosinófilos, así como una disminución del porcentaje de macrófagos a nivel alveolar. Por su parte, los estudios citogenéticas en animales que han sido expuestos a diferentes concentraciones y tipos de contaminantes ambientales muestran una elevada frecuencia de células alteradas.

Tomando en cuenta los antecedentes metodológicos anteriormente mencionados, se realizaron mediciones de la cantidad de ceniza en el sendero ecológico, la Cantera, el

Molinuco, el Rumibosque y Cashapamba. Por lo que a continuación se especifica en la tabla No. 8 la presencia de ceniza en cada uno de los puntos.

Tabla 8. Presencia de ceniza mensual en los puntos de medición

MES	Promedio de presencia de ceniza (en mm)				
	Sendero Ecológico	Sector la Cantera	Sector el Molinuco	Sector Rumibosque	Sector Cashapamba
Octubre - año 2015	0,25	0,17	0,17	0,12	0,23
Noviembre - año 2015	0,15	0,16	0,18	0,08	0,29
Diciembre - año 2015	0,17	0,17	0,13	0,18	0,17
Enero - año 2016	0,21	0,19	0,23	0,19	0,18
Febrero - año 2016	0,13	0,21	0,27	0,23	0,19

Elaborado por: Diego Carrión.

De acuerdo a lo especificado dentro de la Tabla 8, la presencia de ceniza puede ser considerada como leve, pero algunos puntos de su medición tienen un aproximamiento mayoritario a la caracterización de caída de ceniza moderada, por lo que es importante en este punto, además del estudio de caída de ceniza especificar la proyección de afección zonal por este fenómeno, así como el registro de afección por medios cartográficos.

Dentro de la especificación de medios cartográficos de afección volcánica dentro de la gran cascada del río Pita, cabe diferenciar la presencia de zonas de peligro proximales y zonas de peligro distales, siendo de principal análisis la zona de peligros distales. Haciendo referencia al estudio expuesto por Ordóñez et al. (2013), la zona de peligros proximales (ZPP) está representada en color tomate en la figura No. 10 y en los mapas posteriores, donde esta zona de relación de afección comprende la superficie que, dependiendo de la topografía local, circunda el cráter del Cotopaxi entre los 8 y 11 km. Esta zona es de especial afección por presencia de fenómenos volcánicos devastadores como los flujos piroclásticos, flujos de lava, bombas y bloques balísticos, así mismo por abundante caída de ceniza y lahares, por lo que es de especial evacuación inmediata.

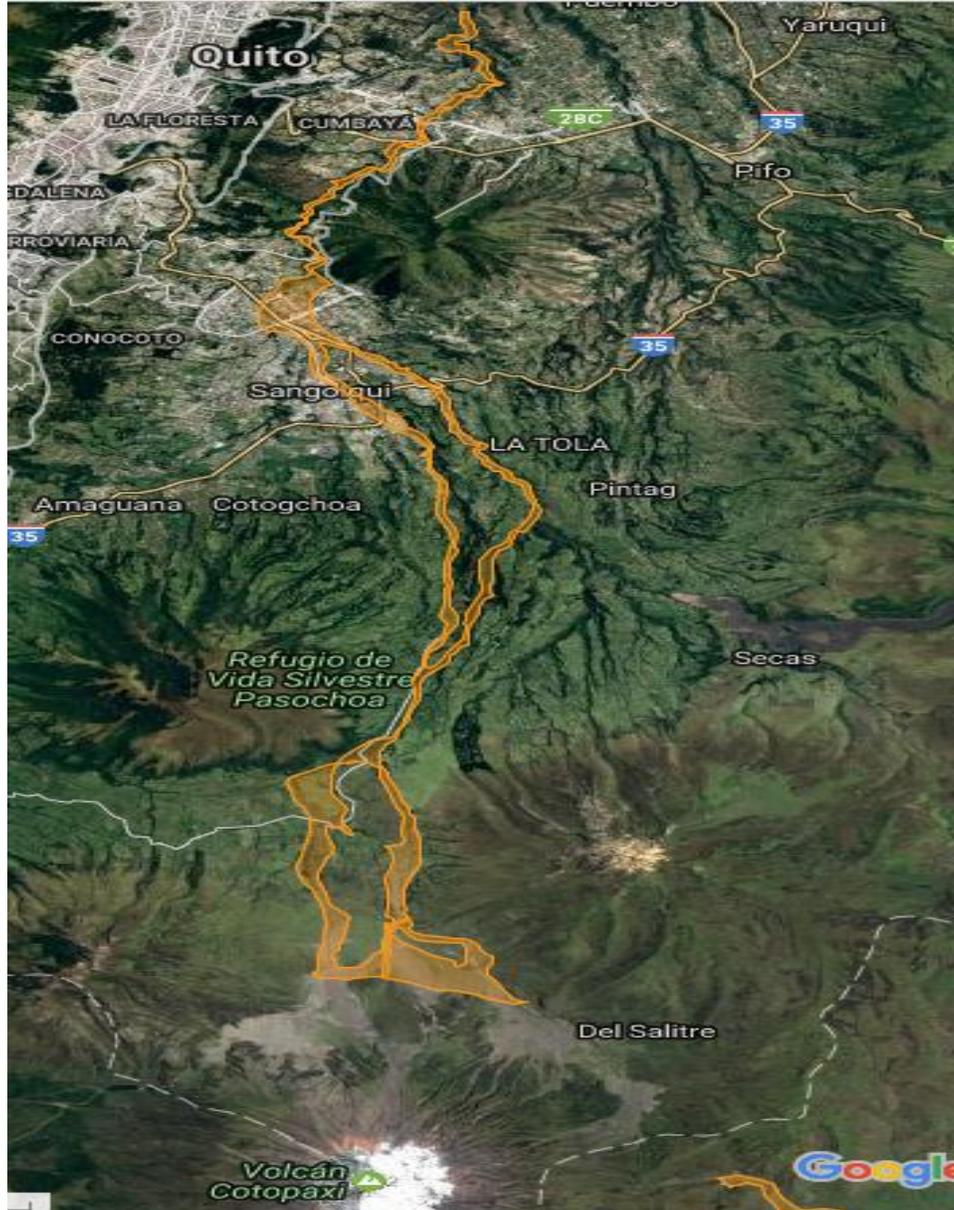


Figura 10. Zonas de peligro norte del volcán Cotopaxi. (Secretaría de Gestión de Riesgo DMQ 2017).

En su contraparte, haciendo referencia nuevamente a Ordóñez et al. (2013), para el caso de los lahares, la zona de peligros distales (ZPD) está constituida por los drenajes (cauces y orillas) que nace en las regiones más altas del volcán y que continúa pendiente abajo fuera de los límites de la ZPP. Este es el caso de la dirección que toma el río Pita, que

como se comunicó anteriormente, las erupciones explosivas pueden generar lahares con volúmenes lo suficientemente grandes como para canalizarlos por estos drenajes, pudiendo viajar decenas de kilómetros aguas abajo.

En este punto es importante recalcar la topografía de los valles donde se representan factores importantes para evaluar el peligro que representan en zonas más bajas donde comúnmente existen asentamientos humanos. En este caso se ejemplificaría que, como se observa en la figura 10, si las quebradas o los ríos son profundos y los lahares tienen volúmenes relativamente pequeños, los flujos no podrán desbordarse y seguirían su curso sin causar daños significativos; mientras que en otra situación, si los volúmenes laháricos son grandes y/o si la topografía exhibe drenajes poco profundos, es muy probable, tal como lo explica Ordóñez et al. (2013) que los flujos laháricos se desborden e inunden superficies importantes alrededor de los cauces.

Si bien es cierto que los lahares provocan una gran cantidad de destrucción a su paso por las vertientes del río Pita, la lluvia de ceniza y piroclastos es otro parámetro a tomar en cuenta, donde según lo establece un registro histórico de las erupciones anteriores del volcán Cotopaxi, se mencionan nubarrones de humo y ceniza, así como columnas de fuego y de lava saliendo del cráter del volcán, que luego dieron paso a lluvias de ceniza en extensas zonas al occidente y norte del volcán. Andrade et al. (2005) exponen que estas caídas de ceniza provocaron grandes pérdidas de agricultura y ganadería, así como la desaparición completa de anuros de varias especies de anfibios en la región circundante al río Pita, por la acumulación de capas de este material sobre la superficie terrenal, que alcanzaba una altura de 1,5m aproximadamente.

Andrade et al. (2005) adhieren enfáticamente que la peligrosidad de los lahares está determinada por el volumen de agua disponible (tamaño del glaciar) y de los materiales sueltos disponibles, de las pendientes y del encañonamiento de los valles por donde fluyen. Las especies vegetales y animales, incluyendo dentro de este grupo la gran cantidad de anfibios como la especie de la rana cohete de la Villaflora, alcanzadas por un lahar tienen

muy pocas posibilidades de sobrevivir, por lo cual, durante una crisis volcánica se recomienda la evacuación de las zonas pobladas que se encuentren en los márgenes de drenajes peligrosos que bajan del volcán

4.2. Resultados de modelamiento por enfoque de máxima entropía Maxent.

4.2.1. Selección de variables - UPGMA

El UPGMA fue calculado, con base a variables bioclimáticas, para posibles zonas de reintroducción de la especie *Hyloxalus jacobuspetersi*. A partir de este análisis se obtuvo resultados independientes con datos estandarizados y con datos no estandarizados, tal como se especifica en las Figuras No. 11 y No. 12.

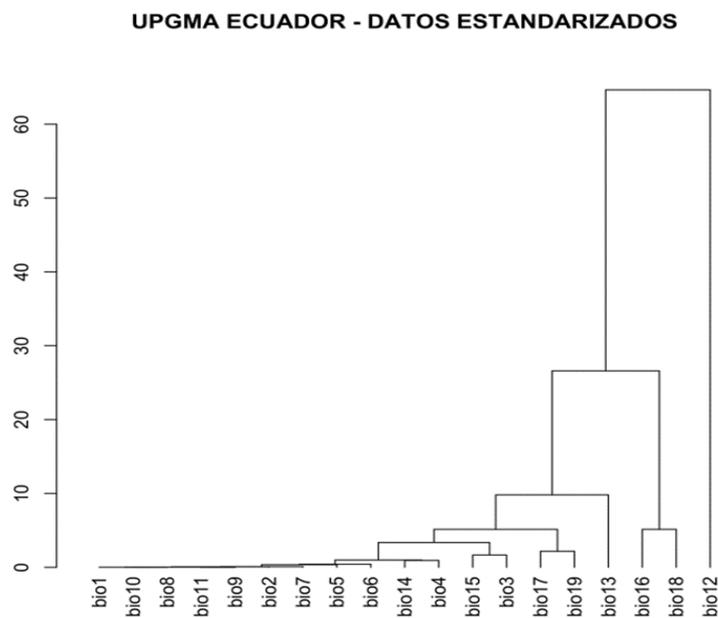


Figura 11. Resultados UPGMA zonas de reintroducción en DMQ – datos estandarizados

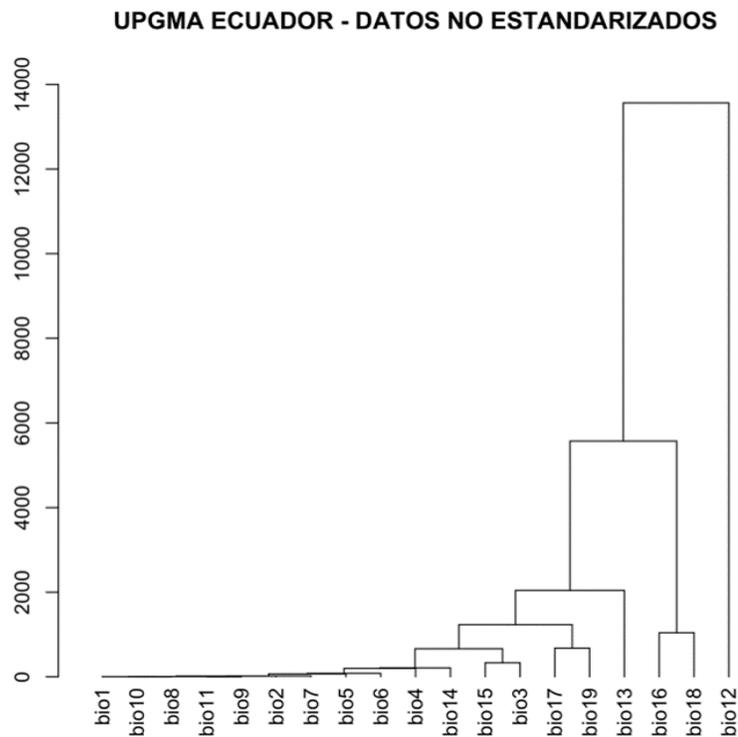
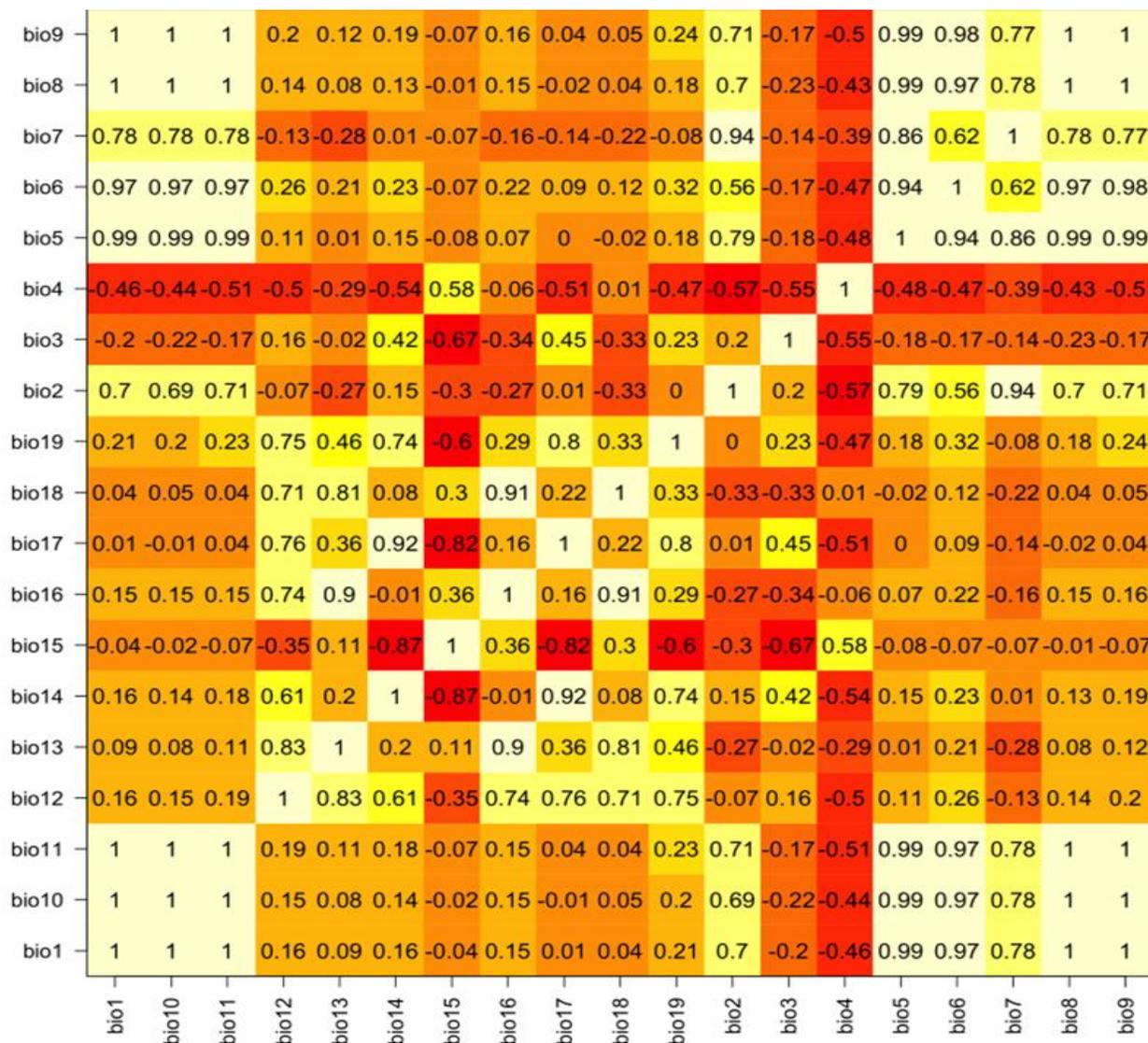


Figura 12. Resultados UPGMA zonas de reintroducción DMQ – datos no estandarizados

4.2.2. Matriz de correlación.

En el caso de la investigación, de forma vinculada a los resultados obtenidos del UPGMA, se realizó una única matriz de correlación utilizando los valores obtenidos para determinar la correlación entre variables y junto con el UPGMA escoger cuales son las correlacionadas y eliminar variables como indicada en la Tabla No. 9.

Tabla 9. Matriz de correlación.



Elaborado por: Diego Carrión.

4.2.3. Variables seleccionadas

Las variables determinadas como similares según el UPGMA fueron analizadas con los valores de la matriz de correlación. Las variables que se encontraron relacionadas con un coeficiente de correlación mayor a 0,7 fueron sujetas a selección de tal manera que se escogió solamente una para aportar al modelo. Las variables seleccionadas para el modelamiento

fueron BIO1, BIO4, BIO18, BIO6, BIO3, BIO15, BIO13, BIO9, BIO12, BIO2, BIO14, BIO17 y BIO15.

Por ejemplo, se determinaron a las variables BIO 17, y BIO 19 como similares según el UPGMA. El índice de correlación entre BIO 17 y BIO19 fue de 0,81, por lo tanto, se escogió solamente a BIO 17 de entre las dos variables ya que BIO 17 indica la precipitación del cuatrimestre más seco mientras que BIO 19 indica la precipitación del cuatrimestre más frío., por lo tanto, la información de precipitación tiene más peso sobre la especie para esta investigación. Luego se comparó a BIO 15 con BIO 3 obteniendo un valor de 0,57, coeficiente de correlación bajo el umbral, por lo tanto, las dos variables fueron seleccionadas para el modelamiento. El proceso se realizó de forma similar para analizar todas las variables.

4.2.4 Validación estadística del modelo Maxent

Los resultados del cálculo de AUC y umbral de presencia se verifican en la Tabla 10.

Tabla 10. Eficacia del Modelo Maxent

Especie	Corrida	Registros	Unicos	Juntos	Validos	Modelamiento	ROC	AUC	Umbral
Hyloxalus jacobuspetersi	1	121	40	2	38	Maxent	0,3065	0,9493	0,0744
Hyloxalus jacobuspetersi	2	121	40	2	38	Maxent	0,2939	0,9497	0,1121
Hyloxalus jacobuspetersi	3	121	40	2	38	Maxent	0,3284	0,9566	0,2051
Hyloxalus jacobuspetersi	4	121	40	2	38	Maxent	0,3986	0,9755	0,4004
Hyloxalus jacobuspetersi	5	121	40	2	38	Maxent	0,3807	0,9627	0,3185
Hyloxalus jacobuspetersi	6	121	40	2	38	Maxent	0,3817	0,9708	0,4794
Hyloxalus jacobuspetersi	7	121	40	2	38	Maxent	0,4192	0,973	0,1382
Hyloxalus jacobuspetersi	8	121	40	2	38	Maxent	0,364	0,9646	0,1314
Hyloxalus jacobuspetersi	9	121	40	2	38	Maxent	0,3446	0,9559	0,1062
Hyloxalus jacobuspetersi	10	121	40	2	38	Maxent	0,3129	0,9509	0,243
						PROMEDIO	0,35305	0,9609	0,22087

Elaborado por: Diego Carrión.

4.2.5. Aplicación del modelo Maxent – Desarrollo de Mapas.

El modelamiento en Maxent dio como resultado el mapa del Ecuador con los sitios donde se encontraba la especie *Hyloxalus jacobuspetersi*.

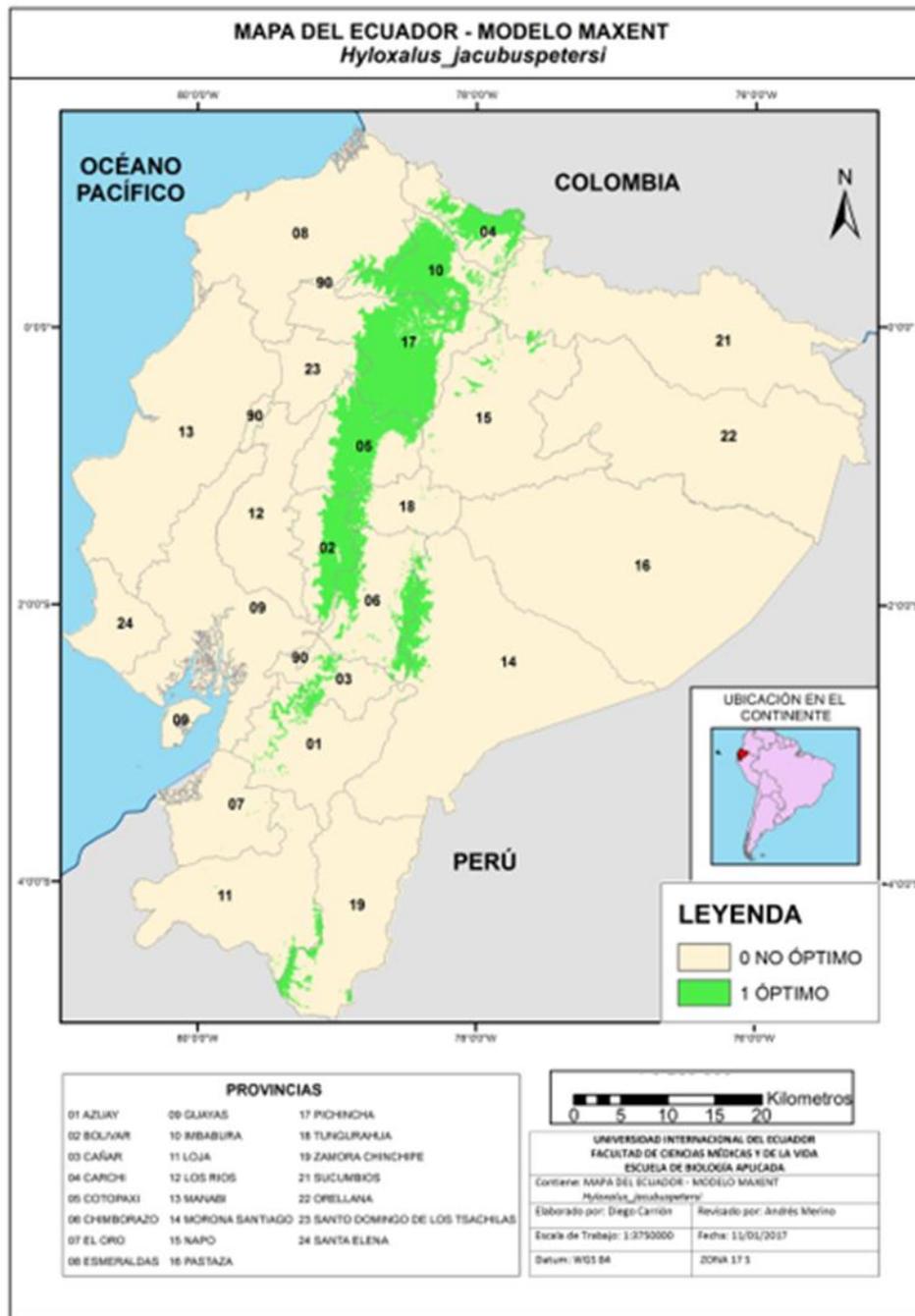


Figura 13. Mapa de distribución de *Hyloxalus jacobuspetersi* en Ecuador Maxent

Para realizar la investigación de los posibles sitios de reintroducción de la rana cohete de Villaflora *Hyloxalus jacobuspetersi*, dentro del DMQ, se cortó del Mapa de Maxent del Ecuador figura 13 mediante el programa ArcGis con un perfil grilla evaluación 10001 al Distrito Metropolitano de Quito.

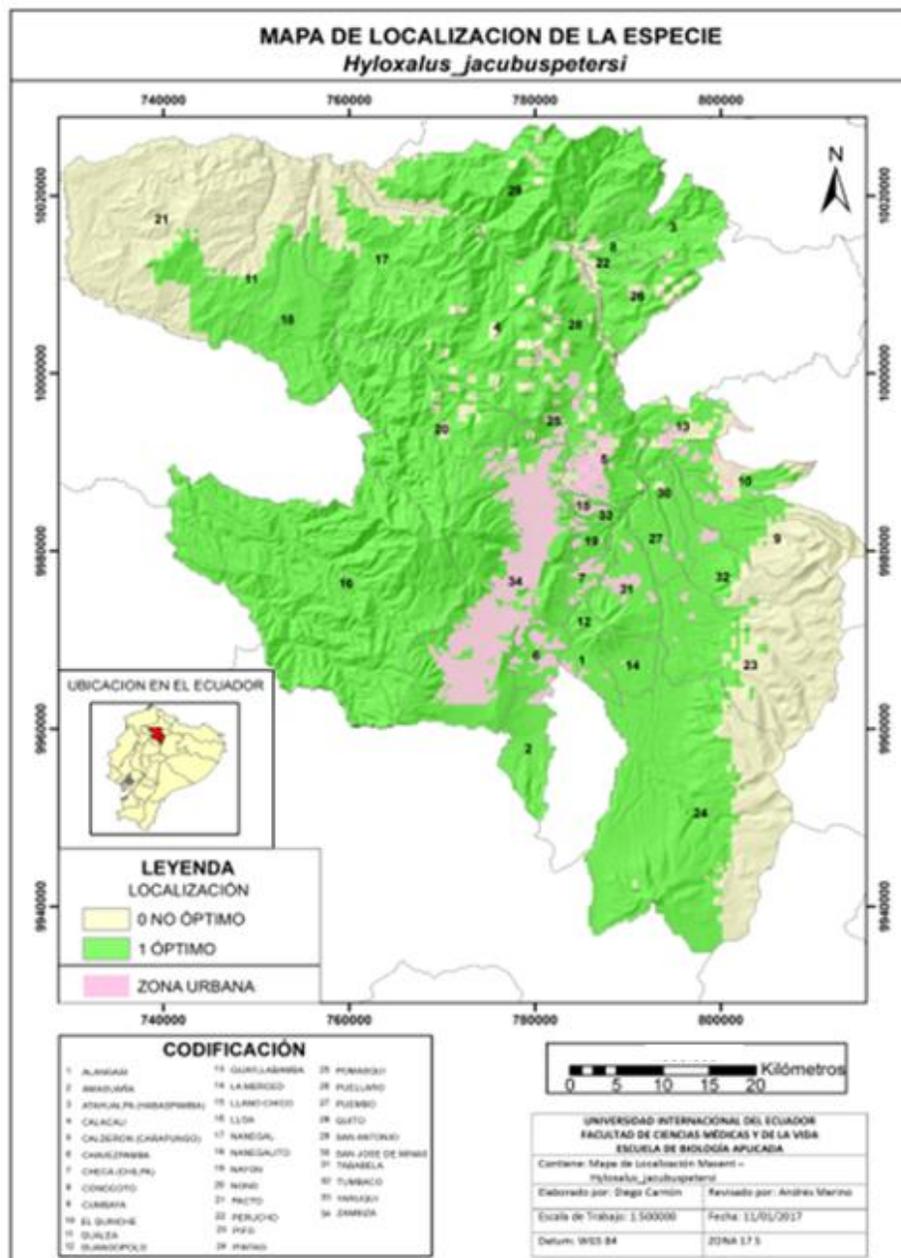


Figura 14. Mapa de localización de especie *Hyloxalus jacobuspetersi* en el DMQ.

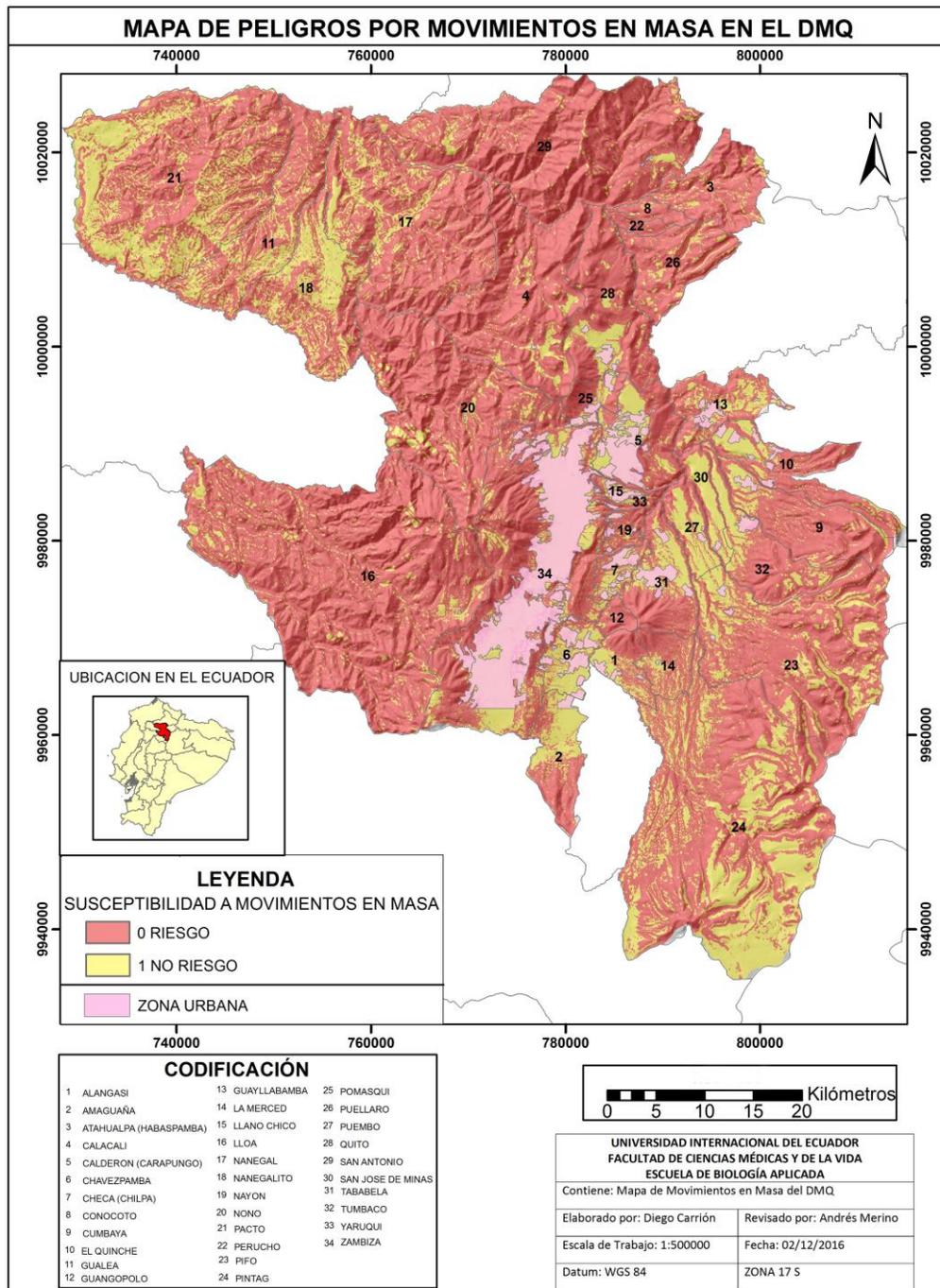


Figura 15. Mapa de peligros por movimientos en masa en el DMQ.

En el caso del mapa desarrollado para peligros volcánicos, indicado en la figura No. 28, se establece que el riesgo volcánico no solamente constituye la presencia del volcán Pichincha ubicado en las cercanías de la ciudad de Quito, sino las potenciales erupciones de los volcanes Cotopaxi y Pululahua (este último se encuentra dentro del área urbana), a las que se sumarían las amenazas del volcán Antisana ubicado al Sur-Este entre las provincias de Pichincha y Napo, teniendo así zonas de bajo o riesgo nulo en la parte Noroeste y Este del DMQ. Como resultado 58,62% (245868,83) zonas de riesgos y un 41,37% (173518,96) de zonas de no riesgo

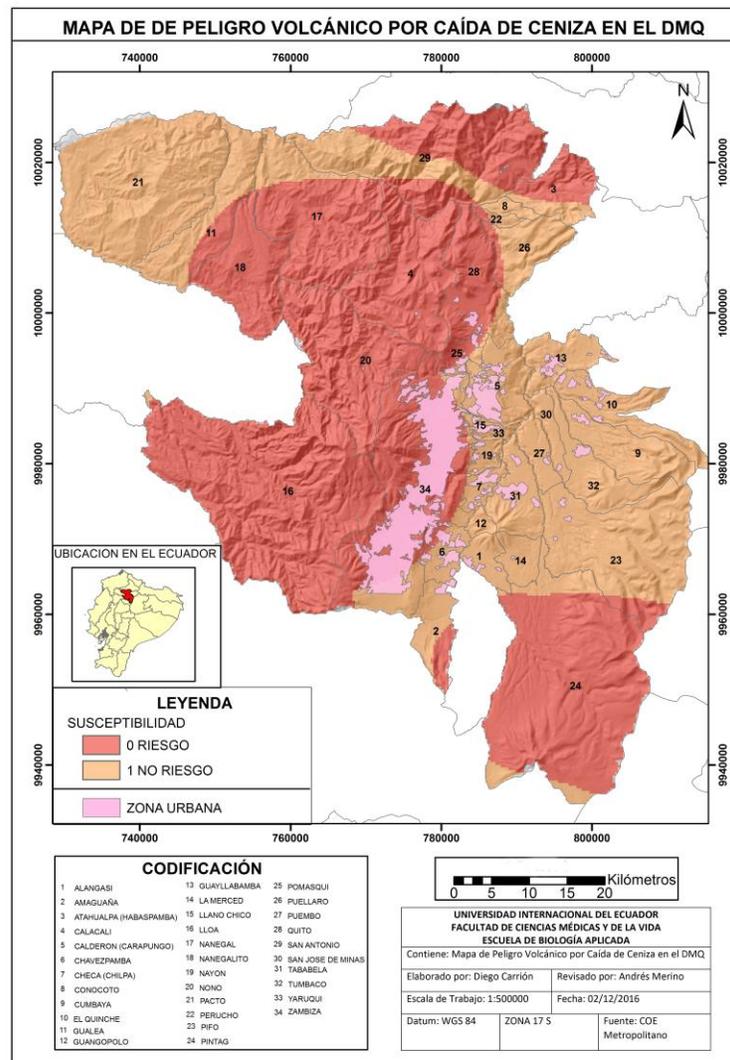


Figura 16. Mapa de peligros volcánicos por caída de ceniza en el DMQ.

Otro peligro analizado es la presencia potencial de Lahares en el caso de posibles erupciones volcánicas. Mediante la reclasificación entre peligro nulo, bajo y alto se tiene que los peligros volcánicos por los lahares se encuentran en dos zonas en la parte central del DMQ debido a los volcanes Pichincha y Pululahua, los cuales afectan a una pequeña superficie del territorio, donde se encuentran ubicados los asentamientos humanos, por lo que se puede diferenciar un gran porcentaje de zonas de riesgo nulo distribuidas por toda la superficie del territorio. Como resultado un 20,24% (85287,46 ha) son de riesgo y un 79,76% (336253,06 ha) son seguras.

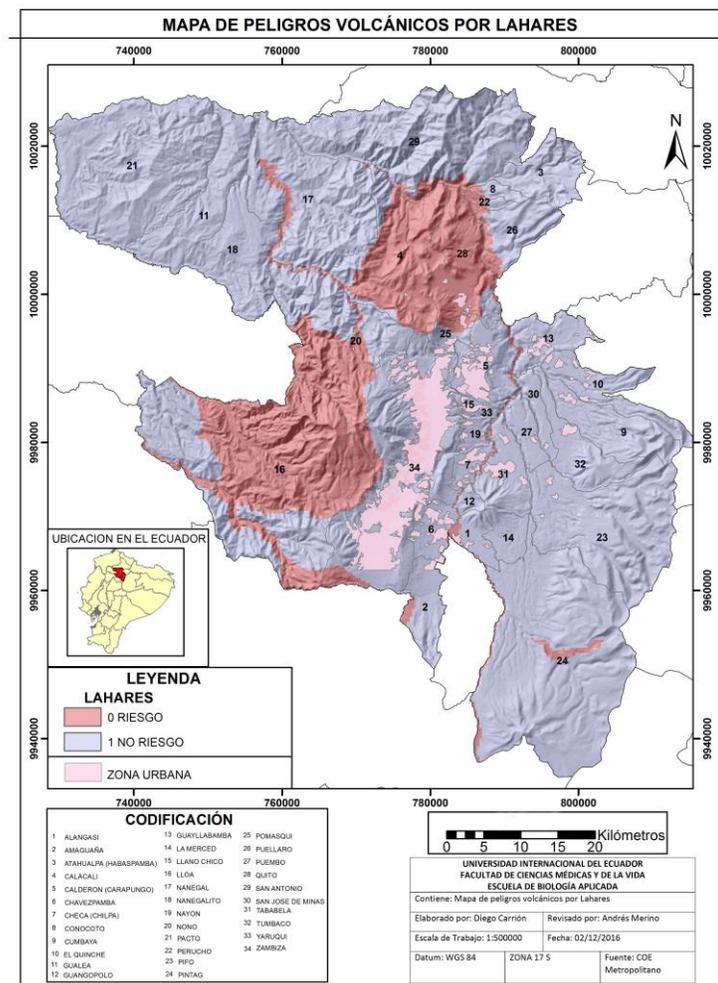


Figura 17. Mapa de peligros volcánicos por lahares DMQ.

Es de gran importancia considerar las zonas de cobertura vegetal, diferenciándolas de las zonas urbanas y de utilización para actividades productivas. Mediante la reclasificación, según el tipo de cobertura vegetal, se puede observar dentro del DQM diferentes tipos de vegetación, visualizándose claramente las zonas donde existen vegetación seca, suelos desnudos, zona urbana y zonas ocupadas para las actividades agropecuarias, teniendo así zonas óptimas en dirección del Este y Oeste en el DMQ, con un 38,21% (161519,62 ha) consideradas, zonas no aptas para la reintroducción de la especie por carecer de las condiciones ecológicas necesarias, con gran porcentaje de extensión urbana, y un 61,79% (261215,28 ha) como de no riesgo.

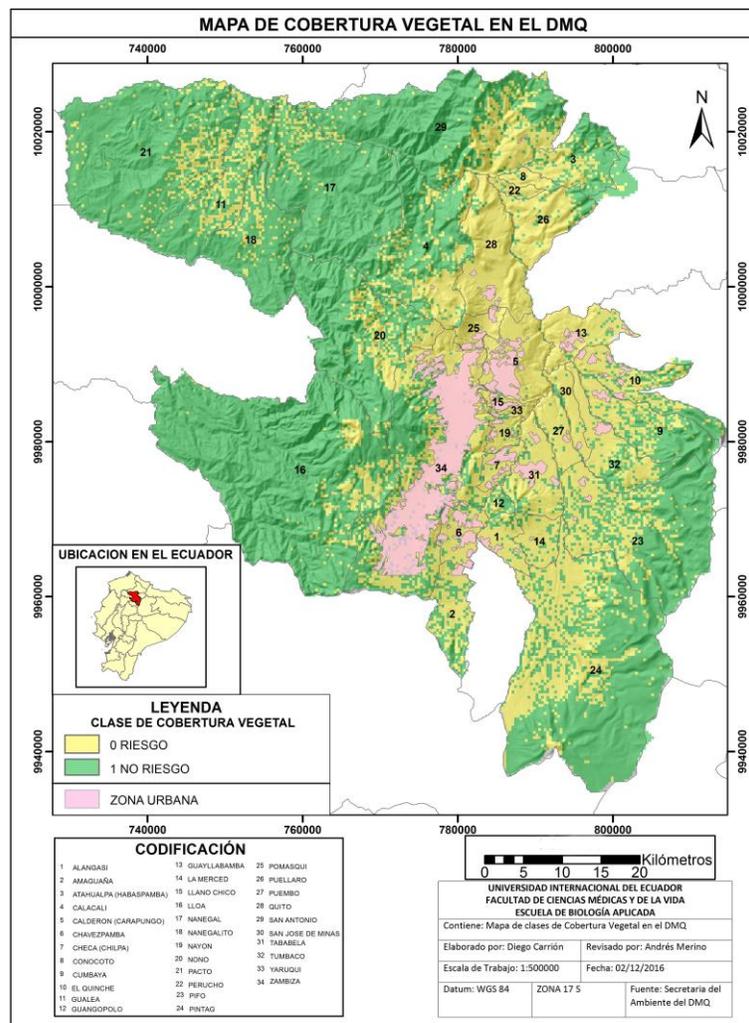


Figura 18. Mapa de Cobertura Vegetal en el DMQ.

Mediante una reclasificación por el tipo de cobertura vegetal (seca; húmeda y zona urbana) se tiene que las zonas propensas a incendios se encuentran distribuidas por todo el territorio, aunque en un porcentaje de 20,39% (86148,01 ha), es decir al Norte, Sur Este y Centro del DMQ, debido a un tipo de vegetación seca predominante en estas zonas.

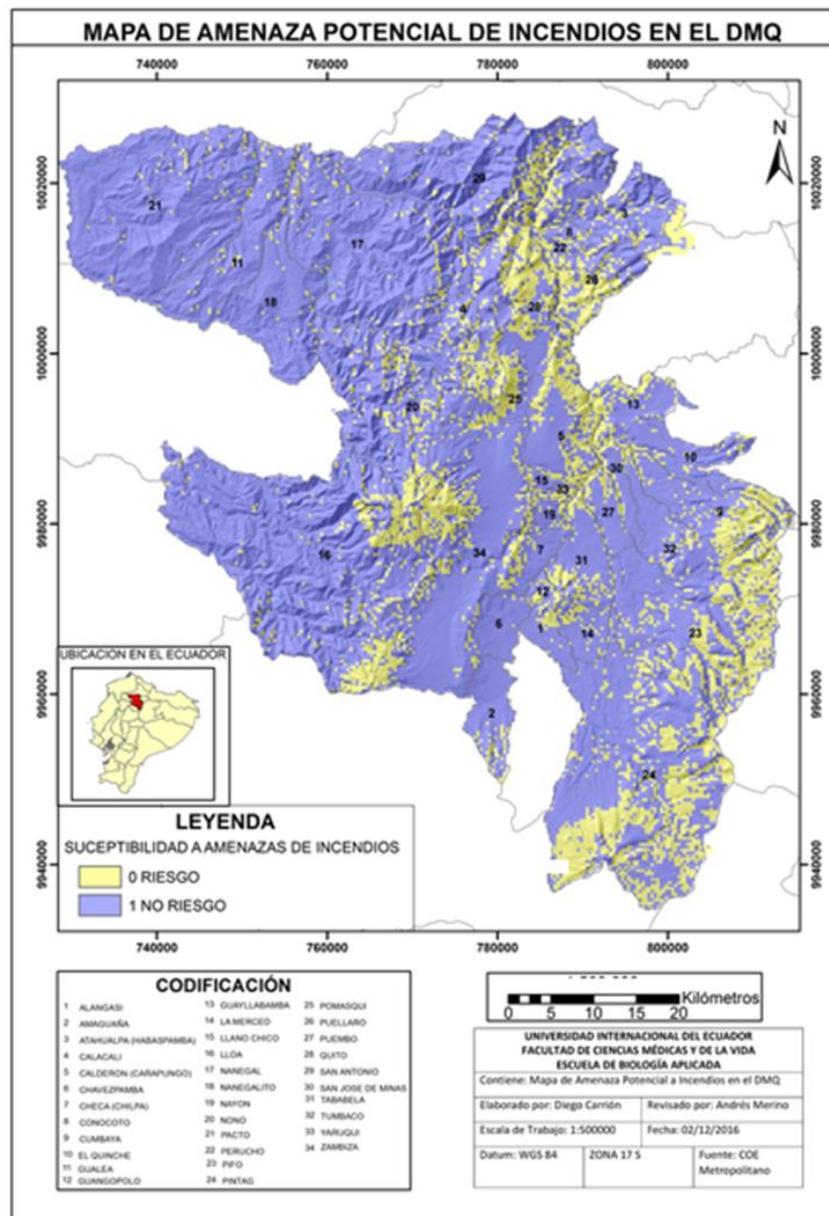


Figura 19. Mapa de Amenaza Potencial por Incendios en el DMQ.

Con base en los mapas desarrollados anteriormente, se desarrolló el mapa de peligros naturales para el DMQ. En este mapa se identificaron las zonas de riesgo calculadas mediante el cruce de las variables de los peligros por movimientos en masa, lahares, caída de ceniza, tipo de vegetación y amenaza por incendios, obteniendo así, las zonas no óptimas con un 85% (340399,56) por tener un alto riesgo a peligros naturales y las zonas óptimas de 15% (61294,56) para la reintroducción de la especie *Hyloxalus jacobuspetersi*.

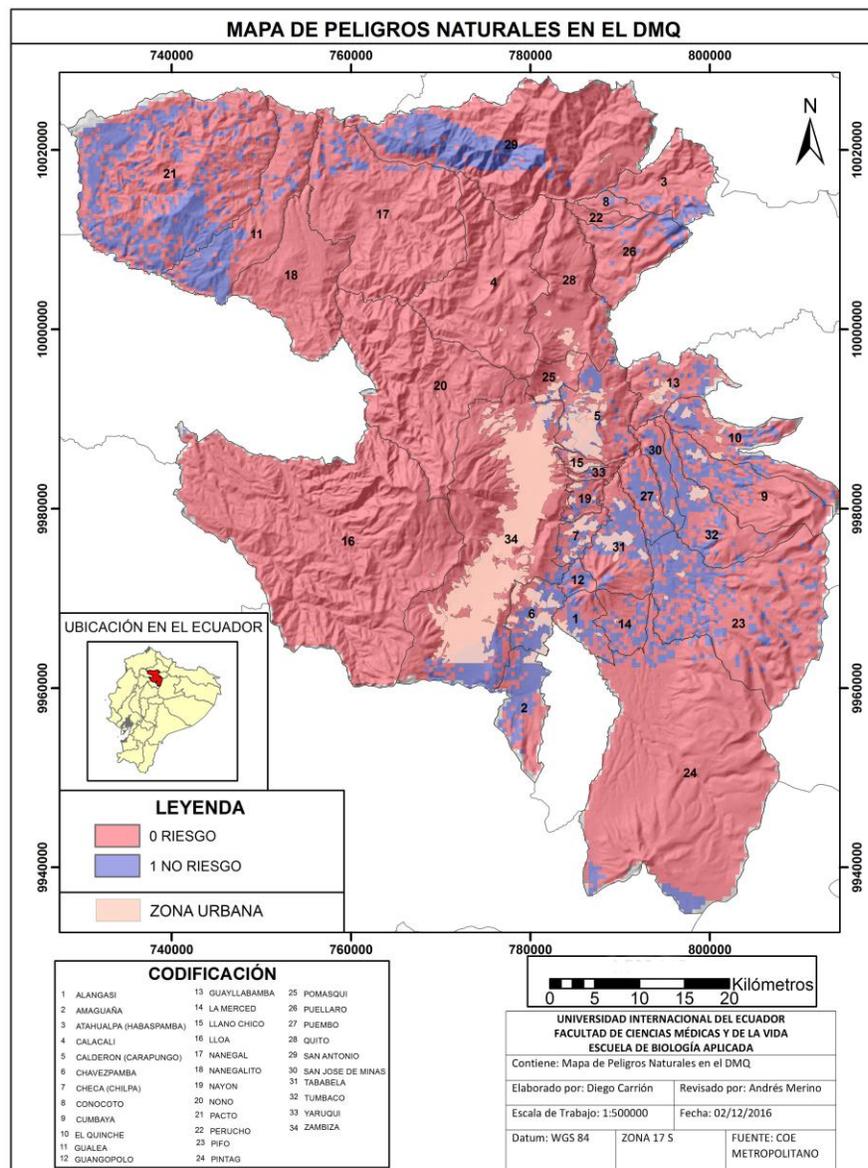


Figura 20. Mapa de Peligros Naturales en el DMQ.

Consecuente con la estructuración de zonas de riesgo elevado o bajo por presencia de peligros naturales, para la reintroducción de la especie *Hyloxalus jacobuspetersi*, es fundamental especificar un mapa de vertientes, como característica fundamental, debido que las vertientes deben tener características óptimas como corrientes continuas y cerca de vegetación remanente donde puedan colocar sus renacuajos y estos alimentarse. Mediante una reclasificación de las vertientes según su uso, se tomó en cuenta las vertientes naturales y abrevaderos como no riesgosas, mientras que las vertientes para uso doméstico, hidroeléctricas, agrícola, industrial etc. como riesgosas, por ende, se encontró que existe una gran cantidad de vertientes no óptimas en todo el DMQ.

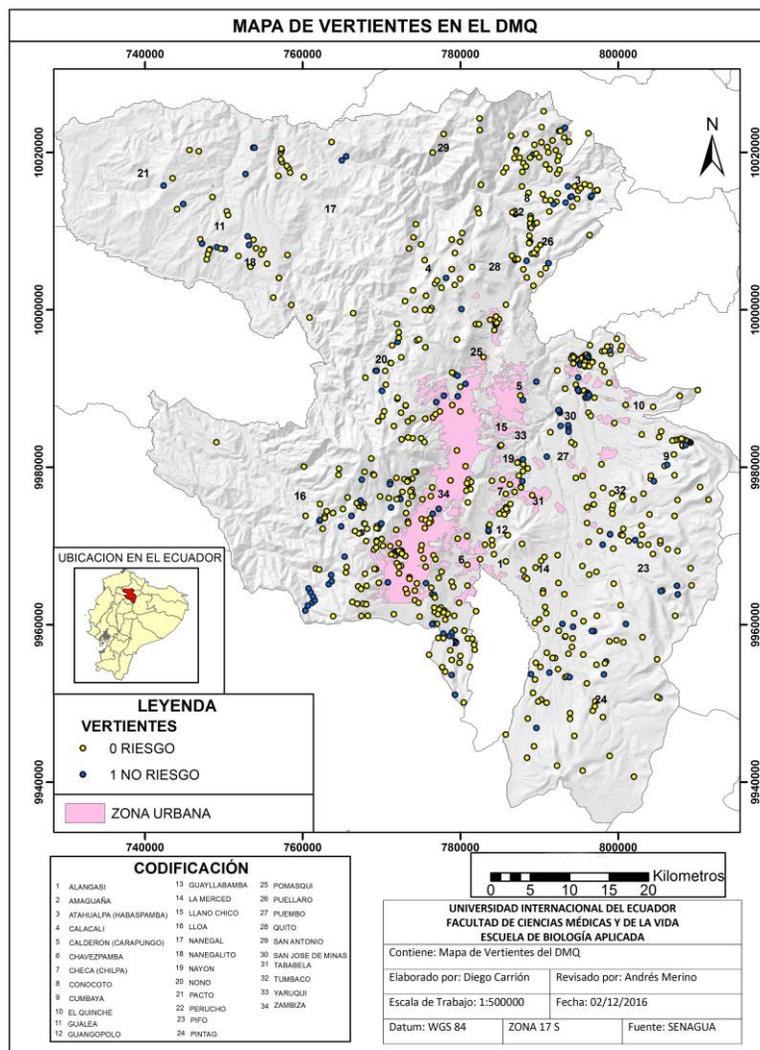


Figura 21. Mapa de Vertientes en el DMQ.

A través de la sumatoria de los mapas correspondientes a los peligros naturales, modelamiento de nicho y al indicado para vertientes en el Distrito Metropolitano de Quito, se puede determinar las áreas potenciales para la reintroducción de la especie *Hyloxalus jacobuspetersi*, que se encuentra representado en color verde. Finalmente, las áreas óptimas se reducen a unos pequeños lugares para una posible reintroducción de esta especie dentro del DMQ.

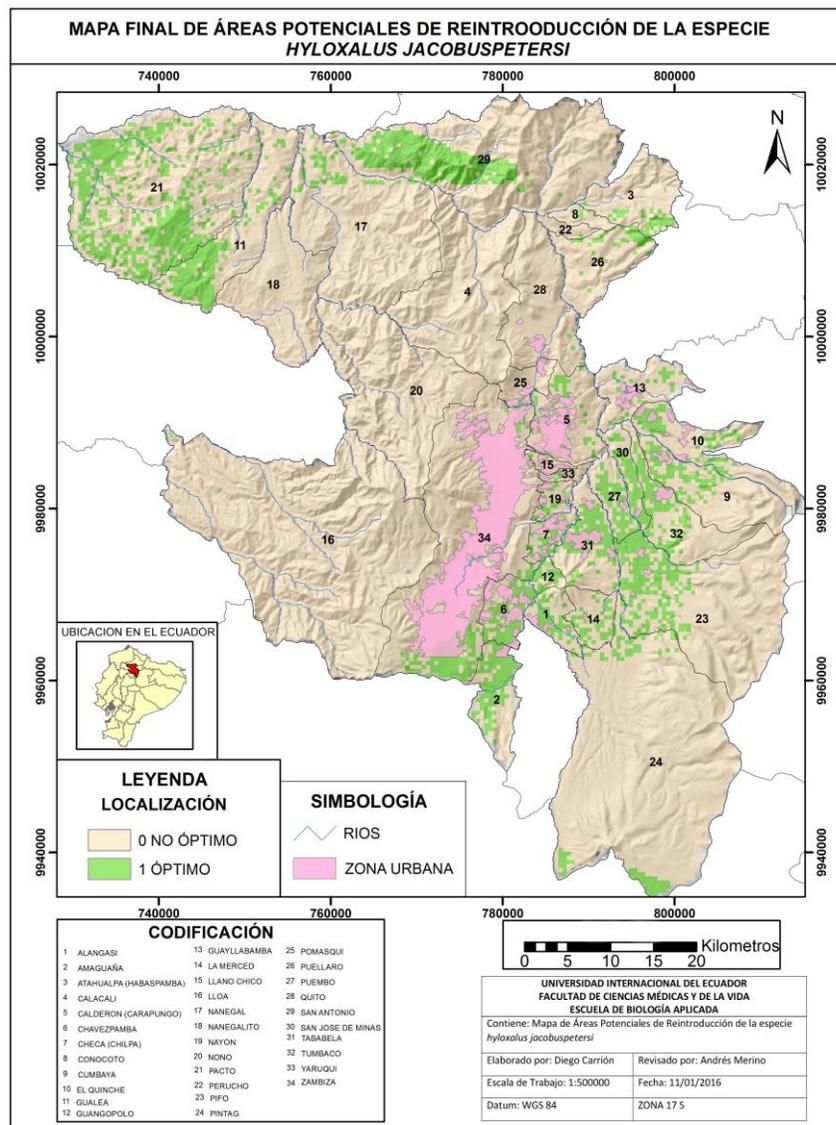


Figura 22. Mapa Final de áreas potenciales de reintroducción de la especie *Hyloxalus jacobuspetersi* en el Distrito Metropolitano de Quito.

Además, al mapa final de áreas potenciales de reintroducción de la especie *Hyloxalus jacobuspetersi*, se añadió una capa con las vertientes naturales que no representan riesgo para la especie, mismas que se encuentran representadas por puntos rojos. Estos puntos fueron de utilidad para el reconocimiento en campo de lugares óptimos.

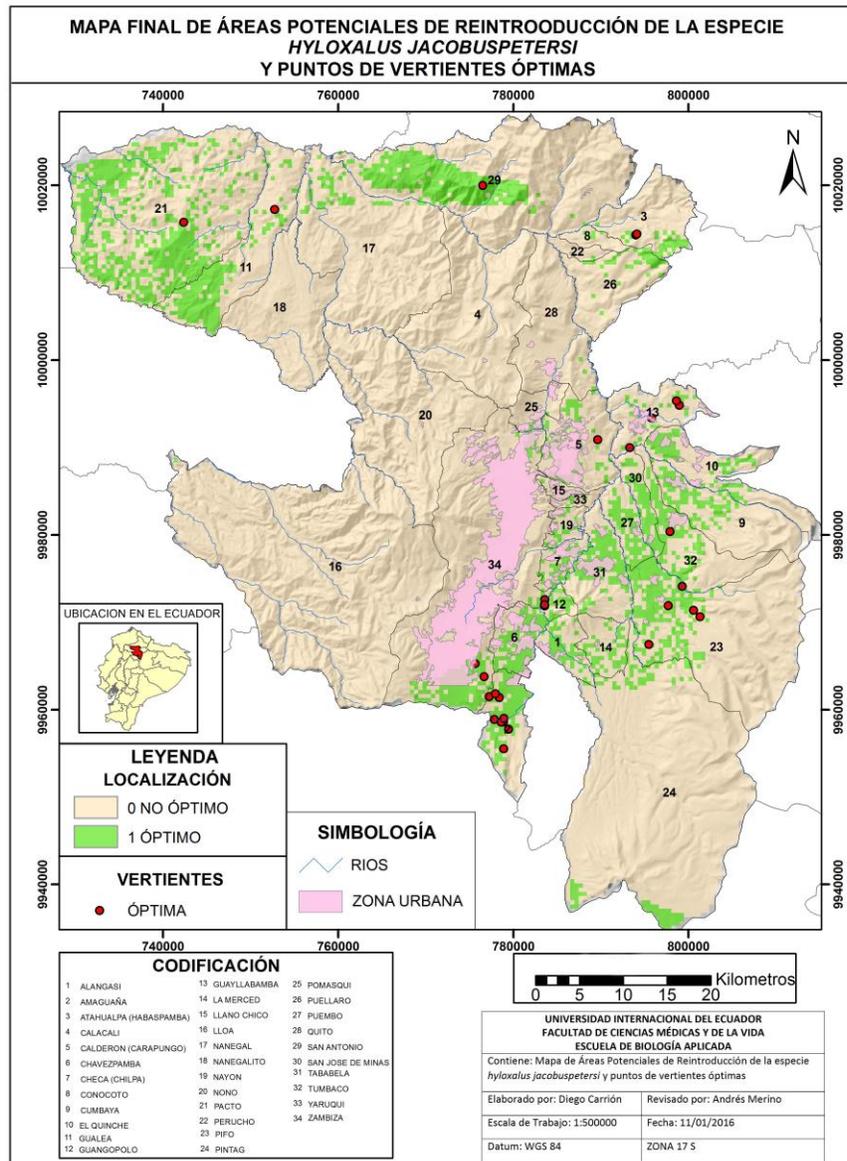


Figura 23. Mapa final de áreas potenciales de reintroducción de la especie *Hyloxalus jacobuspetersi* y puntos de vertientes óptimos dentro del Distrito Metropolitano de Quito.

De acuerdo con ArcGis, del mapa final de posibles zonas para la reintroducción de la especie de la rana Cohete de la Villaflora (*Hyloxalus jacobuspetersi*) se desprende que existe una superficie óptima de 635,9 km² correspondientes al 15,1% de la superficie total analizada, mientras que la superficie no optima cuenta con 3580,0 km² que corresponden al 84,9% de la superficie total analizada.

Cabe recalcar que, para el caso de estudio, las zonas de alto riesgo son eliminadas para el análisis zonal de reintroducción debido a que, por sus características representadas en los mapas se llegó a la conclusión que son zonas que no cumplen las especificaciones o características idóneas para que pueda habitar la especie *Hyloxalus jacobuspetersi*.

Finalmente, las zonas idóneas se encuentran reducidas a casi un 9% del territorio del Distrito Metropolitano de Quito debido a que por una parte las zonas con un hábitat óptimo se han ido reduciendo por el crecimiento de la mancha urbana, esto se puede distinguir en los lugares de presencia determinados en el modelamiento realizado en Maxent, priorizando que el mayor peligro encontrado en el Distrito Metropolitano de Quito es por los peligros volcánicos debido a su ubicación en el Ecuador.

4.2.6. Verificación de sitios óptimos para la reintroducción de la especie *Hyloxalus jacobuspetersi*

Como lugares que no cumplen con las características ambientes que describen a un lugar óptimo para reintroducción de la especie fueron, Gualea , San Antonio, Atahualpa, Calderón, Guallabamba, Pifo, Guangopolo, Zambiza y Amaguana ya que estos puntos presentan más del 80% de crecimiento urbano sobre ecosistemas naturales anteriormente existentes, únicamente existe un 5% de vegetación remanente de matorrales, con relación a las vertientes de agua se encontró una alta contaminación por basura y presencia de hidroeléctricas en su mayoría. Como indica la Tabla 11.

Tabla 11. Lugares no óptimos visitados.

Puntos no óptimos	Porcentaje de Percepción				Observaciones
	Cobertura vegetal	Vegetación ribereña	Vertientes Naturales	Crecimiento Urbano	
Gualea	2%	1%	2%	95%	No se encontraron vertientes
San Antonio	3%	4%	3%	90%	Vertientes llenas de basura
Atahualpa	10%	1%	20%	69%	Vertientes utilizadas para el ganado
Calderón	1%	0%	1%	98%	Aumento de la población y carreteras que pasan por las vertientes
Guallabamba	10%	10%	0%	90%	No se encontraron vertientes
Pifo	10%	10%	2%	78%	Se encontró hidroeléctrica en puntos de vertientes
Guangopolo	0%	1%	3%	96%	Se encontró hidroeléctrica en puntos de vertientes
Zambiza	2%	1%	4%	93%	Se encontró basura en vertientes
Amaguana	30%	60%	10%	10%	Se encontró hidroeléctrica en puntos de vertientes

Elaborado por: Diego Carrión.

Los puntos de Pacto y Tumbaco cuentan con características ambientales consideradas como óptimas para la reintroducción de la especie. En la tabla 12 se muestra el punto de Pacto, donde se puede observar la presencia de vertientes naturales, abrevaderos libres de

contaminación. Con relación a la cobertura vegetal se observó un 90% vegetación natural remanente, un 10% de crecimiento urbano. Mientras que en el punto de Tumbaco al tener lugares donde pasan los deportistas como el chaquiñán presenta vertientes naturales, abrevaderos libres de contaminación. Con relación a la cobertura vegetal se observó un 90% de vegetación natural remanente y 10% de crecimiento urbano.

Tabla 12. Lugares óptimos visitados.

Puntos Óptimos	Porcentaje de Percepción				Observaciones
	Cobertura vegetal	Vegetación ribereña	Vertientes Naturales	Crecimiento Urbano	
Pacto	50%	30%	10%	10%	Se encontró vertientes de agua natural y vegetación remanente en senderos vía pacto - masphi
Tumbaco	40%	40%	10%	10%	Se encontró vías de turismo pero su vertientes naturales sin contaminación y mucha vegetación ribereña. Por donde pasa el rio chiche.

Elaborado por: Diego Carrión.

Envase a esto, es importante que el Municipio Metropolitano de Quito como ente regulador, desarrolle o implemente diferentes actividades enfocados a la conservación de estos espacios que presentan las características óptimas de reintroducción de la especie. Una de las actividades principales, es la conservación de sus vertientes naturales implementando programas de educación ambiental que se enfoquen en no votar basura al rio, plantar especies endémicas, mantener la cobertura vegetal, y concientizar a los habitantes del sector sobre la importancia de mantener los ecosistemas saludables. Luego de la reintroducción de la especie tener programas de seguimiento o monitoreo de la especie para ver cómo se adapta al nuevo ecosistema.

CAPÍTULO V

DISCUSIÓN

5.1. Caracterización del riesgo de conservación endémica.

Dentro del proceso de caracterización del riesgo de conservación endémica, si bien es cierto de acuerdo al análisis de información meteorológica, y registro de la población de la rana Cohete de la Villaflora, es importante anotar las características de comportamiento de cada uno de los puntos de afección por producción del volcán Cotopaxi.

Es así que, en cuestión de gases volcánicos, que ocurren antes, durante y después del proceso de erupción, se indica que, según Andrade et al. (2005), el contacto directo con altas concentraciones de gases volcánicos puede provocar irritación en los ojos, boca y nariz de hombres y animales, así como la destrucción de la vegetación. Especialmente, ciertos gases volcánicos pueden reaccionar con el agua de la atmósfera para formar compuestos ácidos, los cuales dan lugar a la ocurrencia de lluvias ácidas altamente corrosivas (por ejemplo, el dióxido de azufre reacciona con el agua para formar ácido sulfúrico). Las lluvias ácidas pueden provocar serios problemas a la agricultura y a la ganadería, y en especial para fines de esta investigación a los anuros correspondientes a la especie de la rana Cohete de la Villaflora, pudiendo así como contaminar fuentes de agua potable en zonas extensas, líquido indispensable para el desarrollo de la especie, y donde se reproduce la especie mencionada.

En cuestión de los flujos de lava, una cantidad de ésta que hubiere llenado el cráter del Cotopaxi y que empiece a derramarse por sus bordes, lo hará por las partes más bajas del mismo. Es así que se puede prever que los flancos orientales y occidentales del Cotopaxi podrían ser afectados por estos fenómenos, mientras que su ocurrencia, según lo expone el Instituto Geofísico Escuela Politécnica Nacional (2015) hacia los flancos norte o sur es mucho menos probable, a no ser que sucedan a través de fracturas y no desde el cráter.

Direccionando el análisis a la emisión de lluvias de ceniza y material piroclástico dentro del proceso eruptivo del volcán Cotopaxi, Moore & Sisson (1992) enuncian que las

lluvias de ceniza y material piroclástico se depositan sobre la superficie terrestre formando una elipse que puede extenderse por cientos de kilómetros en la dirección del viento, y cuyo espesor disminuye progresivamente desde el volcán. Así, la peligrosidad de este fenómeno estará controlada por el volumen de material emitido, la intensidad y duración de la erupción, la dirección y la velocidad del viento y la distancia al volcán, concluye (Moore & Sisson).

En cuestión al aspecto principal de trayectoria de lahares y escombros, cabe indicar que, a base de estudios llevados a cabo a lo largo de los últimos 15 años, se destaca que la erupción y el lahar ocurridos el 26 de junio de 1877 fueron importantes, pero de poca duración, si se desea una ejemplificación de la tipología de comportamiento dentro del proceso eruptivo. El derrame de los flujos piroclásticos desde el cráter no habría durado más de 15 minutos, mientras que el paso de los lahares más agresivos habría durado solamente entre 30 a 60 minutos en las diferentes localidades. Sin embargo, es muy probable que, por un período de varios meses después del evento principal, ocurrieran otros flujos de lodo más pequeños, mientras los ríos intentaban restablecer sus cauces, especialmente en las zonas planas. Este efecto de presencia de lahares es de gran influencia negativa en la variabilidad del riesgo de conservación de la especie, por cuanto la resistencia del medio vegetal y biológico al paso de los escombros, así como la poca protección con respecto a posibles inundaciones con material desprendido a través del viaje del lahar, ocasionan que los anuros de la especie queden totalmente desprotegidos, y la variación de dicha vegetación hace imposible la supervivencia de la especie dentro del emplazamiento.

5.2. Evolución de los mapas de amenaza y afección.

Uno de los principales problemas para la caracterización de áreas para una probable reintroducción de la Rana Cohete de la Villaflora, es la antigüedad de los mapas indicativos de la misma, razón por la cual la magnificación del evento volcánico no puede ser planificada desde ningún modo. Es así que, según (Robert, 2007), el mapa actual de amenaza representa una zona de referencia que corresponde a la extensión de los lahares generados por la erupción de 1877. Este mapa se realizó según reconocimientos de campo por parte del

Instituto Geofísico Escuela Politécnica Nacional (2015), y datos históricos, confirmados por los testimonios de varias personas que viven en el Valle.

Este mapa se basa únicamente sobre el escenario de 1877 considerado como el más probable, pero el antiguo mapa representaba una zona de riesgo menor de una erupción de intensidad superior a la de 1877. La probabilidad de este evento es considerada demasiado baja para ser representada.

Robert (2007) especifica que esta elección se fortalece con las últimas medidas del estado del glaciar del Cotopaxi realizadas por el IG EPN y el IRD. El casquete glaciar conoce una fuerte regresión, en particular su superficie la cual disminuyó en un 31 % entre 1976 y 1997. Según los estudios sobre el Nevado del Ruiz, la superficie del glaciar que puede estar expuesta a los flujos piroclásticos es el principal factor que condiciona el volumen de agua generada, origen de un lahar. El espesor de hielo es menos determinante. Así, los próximos lahares, para una erupción de intensidad igual a la de 1877, serían de menor amplitud.

Por otro lado, varios escenarios han sido reconocidos, exactamente 4. Para el primer escenario se esperan lahares de pequeño tamaño sin consecuencias para el Valle de Los Chillos. Robert (2007) enuncia que correspondería a un nivel de base de una nueva fase eruptiva, desde la cual el volcán podría evolucionar hasta fases más explosivas que serían los escenarios 2, 3 y 4. Para el segundo escenario, los flujos piroclásticos podrían provocar lahares importantes, pero de menor amplitud en comparación a los de 1877 (50 %).

Su extensión no aparece sobre el mapa, por lo que la influencia directa sobre las inmediaciones del río Pita no puede ser caracterizada con exactitud. El escenario 3 corresponde a la erupción de 1877, con una probabilidad de 10 %. El último escenario, el más explosivo y el más peligroso, corresponde a fases eruptivas prehistóricas. La última erupción de este tipo tiene más de 1000 años y se le ha asignado una probabilidad de 10 %. La amplitud de los lahares provocados superaría la de los lahares históricos conocidos (entre los cuales los de 1877).

Como se indicó inicialmente, el mapa de amenaza que sirve de referencia actualmente representa únicamente la extensión de los lahares del evento de 1877. No contiene ninguna información sobre los otros escenarios. Sin embargo, los científicos admiten que existe una probabilidad de ocurrencia de eventos más grandes o, al contrario, más pequeños. Sin embargo, Robert (2007) concluye que es muy difícil precisar la información sobre esos eventos y hacerlos aceptar.

5.3. Efectos del material volcánico sobre los ecosistemas y medio ambiente.

Si bien está clara la afección de un proceso eruptivo dentro de la conservación de la rana Cohete de la Villaflora y la necesidad de ubicar posibles zonas de reintroducción de la especie, hay que considerar como punto adicional los efectos de la erupción y el material volcánico sobre los ecosistemas y el medio ambiente. Es así que, se indica que la salud ambiental asegura las condiciones higiénico - sanitarias y ambientales de las comunidades o poblaciones afectadas por la actividad volcánica, tanto en su lugar de origen como en los sitios de refugio o desplazamiento, mediante la implementación de medidas que garantizan el manejo seguro de los siguientes componentes:

- Abastecimiento y disponibilidad de agua potable o agua segura.
- Disposición sanitaria de los residuos sólidos, excretas y aguas residuales.
- Control de vectores y de enfermedades transmisibles.
- Manipulación, almacenamiento y distribución de los alimentos.
- Sanidad animal y el fomento de los hábitos higiénicos.

A partir de los componentes anteriores se verifican diferentes tipos de impacto ambiental, todos ellos influyentes dentro de la necesidad de especificación de áreas para probable reintroducción de la rana Cohete de la Villaflora. Inicialmente la Organización Panamericana de la Salud (1982) identifica que, dependiendo de la magnitud de la actividad volcánica, la primera (y a veces la única) señal de su actividad para la población circundante es la emisión de una cortina de humo grisáceo o blanco que contiene gases y cenizas, arrojados por la onda explosiva del volcán; esta cortina se dispersa durante mucho tiempo a

grandes distancias por las condiciones meteorológicas y climáticas de la región. Estos productos, sumados a la energía térmica que los transporta, alteran la calidad del aire en la zona

La Organización Panamericana de la Salud (1982) además agrega que, el agua superficial de lagos, ríos y quebradas tiene mayor riesgo de contaminación porque es más fácil el contacto de los residuos arrojados por el volcán con el agua. La precipitación de ceniza es uno de los mayores impactos que altera las características organolépticas (sabor, olor y color) del agua. Esto no solo impide el consumo del agua, sino que además afecta a las condiciones de vida de los organismos acuáticos de cada ecosistema, a causa de los agentes contaminantes inorgánicos solubles en agua y, en ocasiones, por cambios en la temperatura del agua y empobrecimiento de la calidad del oxígeno disuelto. Su repercusión en el sistema productivo acuícola, así como en la denominación de anuros de especies de anfibios puede ser devastador.

En conclusión, el grado de afectación de la calidad ambiental por la actividad volcánica se puede valorar tomando en cuenta varios factores como: el área afectada por la erupción, el tiempo que persisten los efectos y residuos del material volcánico, el deterioro de la calidad de los recursos naturales y sus servicios ambientales, la alteración de la calidad de vida y de los servicios públicos, según lo especifica finalmente la (Organización Panamericana de la Salud, 1982)

5.4. Modelamiento de especies Maxent.

El modelo Maxent, con base en una metodología que involucra inicialmente los peligros naturales (movimientos en masa, peligro volcánico por caída de ceniza, presencia de lahares, cobertura vegetal existente y amenazas por incendio), en conjunto con la presencia de vertederos indispensables para la reintroducción de la especie de la rana Cohete de la Villaflores (*Hyloxalus jacobuspetersi*), permite especificar las zonas de posible reintroducción dentro del Distrito Metropolitano de Quito.

Dentro de las características del mapa de movimiento en masa se tomó en cuenta un rango de cuatro niveles de peligro (bajo, moderado, alto y muy alto), donde debido a su relieve accidentado característico, indicó que solamente un 27,55% de la superficie del DMQ era óptima para la reintroducción, siendo considerado este particular uno de los principales inconvenientes en la toma de decisiones dentro de un plan estratégico para que se lleve a cabo.

Si bien es cierto estos peligros volcánicos anteriores se refieren a fenómenos relacionados con la caída de ceniza y objetos de menor tamaño expulsados en una posible erupción volcánica, es primordial mencionar las zonas de mayor afección en el hipotético caso de lahares como producto propio de la actividad volcánica, con solamente un porcentaje de 20,24% de riesgo, correspondiente a 85287,46 hectáreas dentro del DMQ.

En orden para la configuración de un solo mapa de peligros naturales es fundamental tomar en cuenta que, al existir una gran posibilidad de producción de incendios por el paso de material volcánico procedente de alguno de los volcanes ya mencionados (Cotopaxi, Pichincha, Pululahua y Antisana), por lo que debido a que en la zona Norte, Sureste y Centro del DMQ existe un pequeño porcentaje de vegetación bajo configuración seca, hay un 20,39% de toda la zona considerada como de alto riesgo para incendios, correspondiente de 86148,01 ha.

Mediante cruce de las variables sobre peligros ocasionados por movimientos en masa, lahares, caída de ceniza, tipo de vegetación presente y amenaza de incendios, se presenta dentro del DMQ solamente un 5% de territorio considerado de no riesgo para la posible reintroducción de la especie de la Rana Cohete de la Villaflora, con un total de 17715,8 ha de terreno. A este mapa de peligros naturales hubo que sumarle un mapa final de vertientes y abrevaderos, considerados de máxima importancia para que la especie pueda desenvolver sus actividades naturales dentro de su hábitat nuevo, alejándolo de aquellas vertientes que son de uso doméstico, para uso de hidroeléctricas, de uso agrícola, industrial entre otras actividades.

En un mapa final, mediante sumatoria de los anteriores, se visualiza que dentro del DMQ solamente existe un 8,54% de zonas identificadas como óptimas para la reintroducción de la especie, porcentaje que es mínimamente mayor al identificado como de no riesgo por peligros naturales por cuanto después de la visualización de vertientes y abrevaderos se consideraron además variables de menor afección por posibles efectos de las erupciones volcánicas, incrementando así en menor medida la zona de posible reintroducción dentro del DMQ.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

- Considerando las zonas aledañas del río Pita como la actual ubicación de la especie de la rana cohete de la Villaflora *Hyloxalus jacobuspetersi*, en revisión específica de los riesgos que correría esta zona ante una posible erupción volcánica, se determinó que las especies vegetales y animales alcanzadas por un lahar, determinado por el volumen de agua disponible (tamaño del glaciar), tienen muy pocas posibilidades de sobrevivir, sobre todo por aquellos que se producen en el drenaje norte del volcán (Zona A1 y Zona A2).
- Se concluye que del total del área de estudio existe una superficie óptima de 35210,74 ha correspondientes al 8,54% de la superficie, mientras que la superficie no óptima cuenta con 396926,70 ha que corresponden al 91,46% de la superficie total del DMQ.
- Para el caso de estudio las zonas de alto riesgo son eliminadas para el estudio debido a que, por sus características representadas en los mapas, se llegó a la conclusión que son zonas que no cumplen las especificaciones o características idóneas para que pueda habitar la especie *Hyloxalus jacobuspetersi*.
- Las zonas idóneas se encuentran reducidas a casi un 9% del territorio debido a que por una parte las zonas con un hábitat óptimo se han ido reduciendo por el crecimiento de la mancha urbana, esto se puede distinguir en los lugares de presencia determinados en el mapa realizado en Maxent, cabe recalcar que el mayor peligro encontrado en el DMQ es por los peligros volcánicos y movimientos en masa debido a su ubicación en el Ecuador.
- Se recomienda tener actualizado la base de datos de las capas de vertientes del DMQ ya que en su totalidad están desactualizadas del sector donde pertenecen por lo que al ir al campo se pudo identificar que los sitios con vertientes ya no existen por la sobrepoblación de los sectores visitados.

- Se recomienda que el Municipio de Quito mantenga las áreas con prioridad de conservación para la reintroducción de la especie dentro de este estudio, las cuales aún mantienen vertientes naturales libres de contaminación y cobertura vegetal nativa del sector. Debido a que, de ser posible realizar una reintroducción, con manejo in situ de esta especie, mantener estas características podrían asegurar un óptimo desarrollo y supervivencia de la especie dentro de estas áreas.
- Se recomienda que antes de reintroducir a la especie se debería hacer un estudio de las especie nativas e introducidas que puedan existir, dificultando la supervivencia de la especie estudiada dentro de estas áreas.
- Es importante que dentro de Secretaria de Ambiente del distrito Metropolitano de Quito se implemente una campaña de difusión sobre la importancia de esta especie en el ecosistema, así como también la importancia histórica para la ciudad.
- Es importante saber que el modelamiento espacial es un proceso que facilita la determinación de áreas de idoneidad de hábitat e importancia para la conservación de las especies.

LITERATURA CITADA

- Aguilera Ortiz, E., & Toulkeridis, T. (2005). *Proyecto de prevención de los riesgos asociados con la erupción del Volcán Cotopaxi - PREVOLCO - Ecuador 2004 - 2005*. Quito, Ecuador: Fundación FOES.
- Almendáriz, A., & Orcés, G. (2004). Distribución de algunas especies de la herpetofauna de los pisos Altoandino, Templado y Subtropical. *Revista Politécnica* 25, 25, 97 - 149.
- Amphibia Web Ecuador. (26 de noviembre de 2016). *Anfibios Ecuador Default*. Obtenido de Amphibia Web Ecuador:
<http://zoologia.puce.edu.ec/Vertebrados/Anfibios/AnfibiosEcuador/Default.aspx>
- Andrade, D., Hall, M., Mothes, P., Troncoso, L., Eisen, J.-P., Samaiengo, P., Yepes, H. (2005). *Los peligros volcánicos asociados con el Cotopaxi*. Quito, Ecuador: Corporación Editora Nacional.
- Angulo, A., Rueda - Almonacid, J., Rodríguez, J., & La Marca, E. (2006). *Técnicas de inventario y monitoreo para los anfibios de la región tropical andina. Conservación Internacional*. Bogotá, Colombia: Panamericana Formas e Impresos S.A.
- Baena, M. et al (2008). *Capital natural de México. Extinción de especies*. (Vol. 1). Distrito Federal, México: CONABIO.
- Bustamante, M. R., Ron, S. R., & Coloma, L. A. (2005). *Cambios en la diversidad en siete comunidades de anuros en los Andes del Ecuador*. Quito, Ecuador: Biotrópica.
- Coloma, L. A. (1995). *Ecuadorian frogs of the genus Colostethus (Anura:Dendrobatidae)*. Kansas, Estados Unidos: Museum of Natural History.

- Departamento de Hidrología UAL. (2002). *Descripción sistemática de la Hidrología. Definiciones*. Almería, España: Universidad de Almería.
- Ferrer Ferrer, F. J., & Cabrera Oliva, P. G. (2000). Sistema de Información Bioclimática para la Gestión Ambiental en Canarias. *Tecnologías Geográficas para el Desarrollo Sostenible*, 516-529.
- González Cárdenas, E. (2008). *Peligros y riesgos volcánicos en biogeografía: Efectos sobre la vegetación*. Castilla La Mancha: Universidad de Castilla - La Mancha.
- Grant, T., Frost, D., Caldwell, J., Gagliardo, R., Haddad, C., Kok, P., Wheeler, W. (2006). *Phylogenetic systematics of dart-poison frogs and their relatives*. New York, Estados Unidos: Bulletin of the American Museum of Natural History.
- Ibarra Montoya, J., Rangel Peraza, G., González, F., de Anda, J., Martínez Meyes, E., & Macías Cuellar, H. (2012). Uso del modelado de nicho ecológico como una herramienta para predecir la distribución de *Microcystis* sp (cianobacteria) en la Presa Hidroeléctrica de Aguamilpa, Nayarit, México. *Revista Ambiente & Agua - An interdisciplinary Journal of Applied Science*, 7(1), 218 - 234.
- Instituto Geofísico de la Escuela Politécnica Nacional y el Instituto de Investigación para el Desarrollo. (2005). *Los peligros volcánicos asociados con el Cotopaxi*. Quito: EGN.
- Instituto Geofísico Escuela Politécnica Nacional. (2015). *Informe mensual: volcán Cotopaxi*. Quito, Ecuador: IGEPN.
- Leime, O. (2002). *Estudio de Impactos ambientales*. Quito, Ecuador: Universidad Cristiana de Quito.
- Massol, A. (2008). Parámetros Físico - Químicos: Temperatura. En A. Massol, *Manejo de definiciones y medioambiente*. Mayaguez, Puerto Rico: UPRM.

- Meruane, C., & Garreaud, R. (2015). *Determinación de humedad en la atmósfera*. Santiago de Chile, Chile: Universidad de Chile.
- Molina, E., Arenillas, I., & A., J. (1996). The cretaceous / Tertiary boundary mass extinction in planktic foraminifera at Agost. *Revue de Micropaléontologie*, 225 - 243.
- Moore, J., & Sisson, T. (s.f.). *Deposits and effects of the May 18 pyroclastic surge*. 221 - 239: G.S. Professional Paper 1250.
- Morales, N. (2012). Modelos de distribución de especies: Software Maxent y sus aplicaciones en Conservación. *Revista de Conservación Ambiental*, 1-5.
- Muñoz, D., Giacometti, J., & Ortiz, J. (2008). *Caracterización de macroinvertebrados acuáticos de la cuenca alta del Río Pita, Cantón Rumiñahui - Ecuador*. Escuela Politécnica del Ejército. Quito: Laboratorio de Acuicultura y Recursos Bioacuáticos,.
- Ordóñez, J., Samaniego, P., Mothes, P., & Schilling, S. (2013). *Las potenciales zonas de inundación por lahares en el Volcán Cotopaxi*. Quito, Ecuador: EGN - IRD - USGS.
- Organización Panamericana de la Salud. (1982). *Salud ambiental con posterioridad a los desastres naturales*. *Publicaciones de protección ambiental*, 43.
- Rivera, A., Santos, A., & Cedillo, L. (2005). *Emisión de ceniza volcánica y sus efectos*. *Revista científica de ecosistemas*, 107 - 115.
- Rivero, J. A. (1991). *New Ecuadorean Colostethus (Amphibia, Dendrobaitidae) in the collection of the National Museum of Natural History*,. (C. J. Science, Ed.) 27, 1 - 22.
- Robert, J. (2007). *Vulnerabilidad de la población expuesta a los lahares del volcán Cotopaxi en el Valle de Los Chillos, Quito - Ecuador*. Quito, Ecuador: PAUD.

- Ron, S. R., Guayasamín, J., & Menéndez, M. (2011). *Biodiversity and Conservation Status of Ecuadorian Amphibians*. Baulkham Hills, Australia: Surrey Beatty & Soons PTY Limited.
- Samaniego, P., Ordóñez, J., Mothes, P., & Schilling, S. (2013). *Las potenciales zonas de inundación por lahares en el volcán Cotopaxi*. Quito: Independiente.
- Santos, J., Baquero, M., Barrio-Amorós, C., Coloma, L., Erdtmann, L., Lima, A., & Cannatella, D. (2014). *Aposematism increases acoustic diversification and specification in poison frogs*. . Londres, Reino Unido: Proceedings of the Royal Society of London.
- Secretaría de Gestión de Riesgos. (2008). *Plan de contingencia ante una posible erupción del volcán "Cotopaxi"*. Quito: Secretaría de Gestión de Riesgos.
- Secretaría de Seguridad y Gobernabilidad del Distrito Metropolitano de Quito. (2015). *Atlas de Amenazas Naturales y Exposición de Infraestructura del Distrito Metropolitano de Quito*. Quito, Ecuador: Independiente.
- Stuart, S., Hoffmann, M., Chanson, J., Cox, N., Berridge, R., Ramani, P., & Young, B. (2008). *Threatened Amphibians of the World*. Barcelona, España: Conservation International.
- Valencia, J., & Garzón, K. (2011). *Guía de anfibios y reptiles en ambientes cercanos a las Estaciones del OCP*. Quito, Ecuador: Fundación Herpetológica Gustavo Orces.
- Valencia, J., Toral, E., Morales, M., Betancourt, R., & Barahona, A. (2011). *Guía de campo de anfibios del Ecuador*. Quito, Ecuador: Fundación Herpetológica Gustavo Orces.
- Wieckowski, K., Levin, R., & Heffez, A. (2003). *Guía para el monitoreo de los anfibios en el Parque Natural Metropolitano Panamá*. Ancon, Panamá: McGill University.

ANEXOS

Fotos de sitios no óptimos

Gualea



Atahualpa



Guallabamba



Pifo



Guangopolo



Zambiza



Amaguana





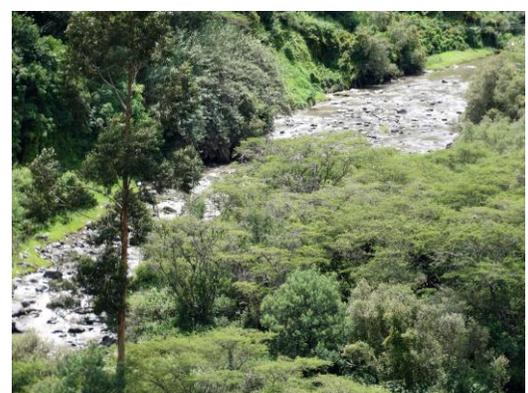
Fotos de sitios óptimos

Pacto

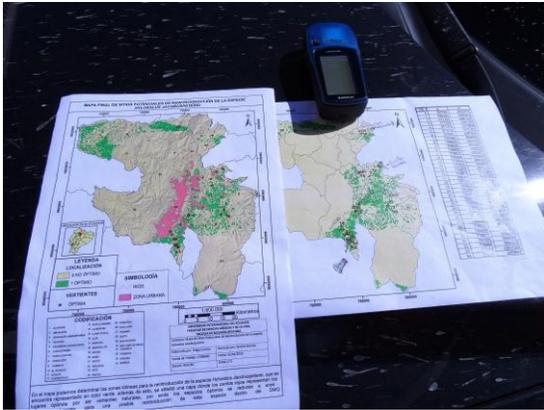




Tumbaco



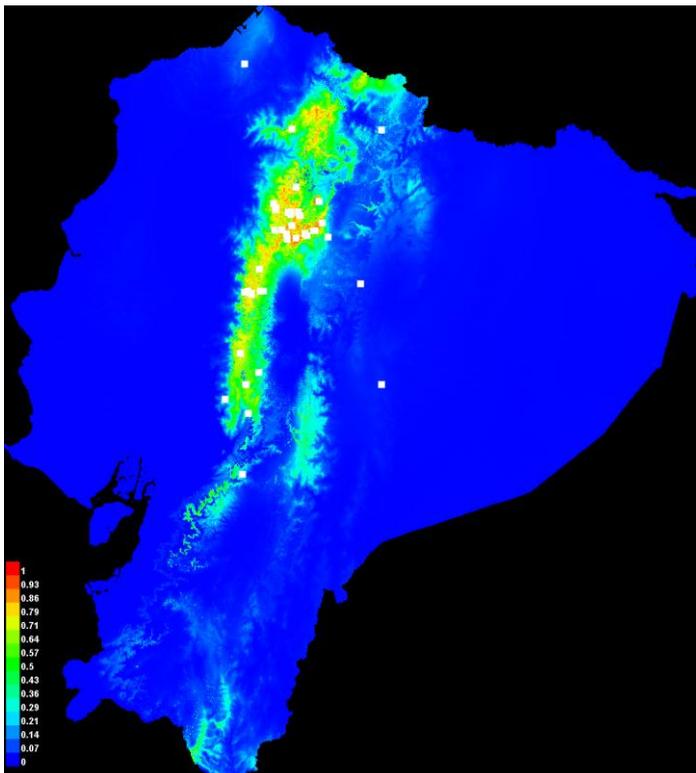
Equipos y Mapas



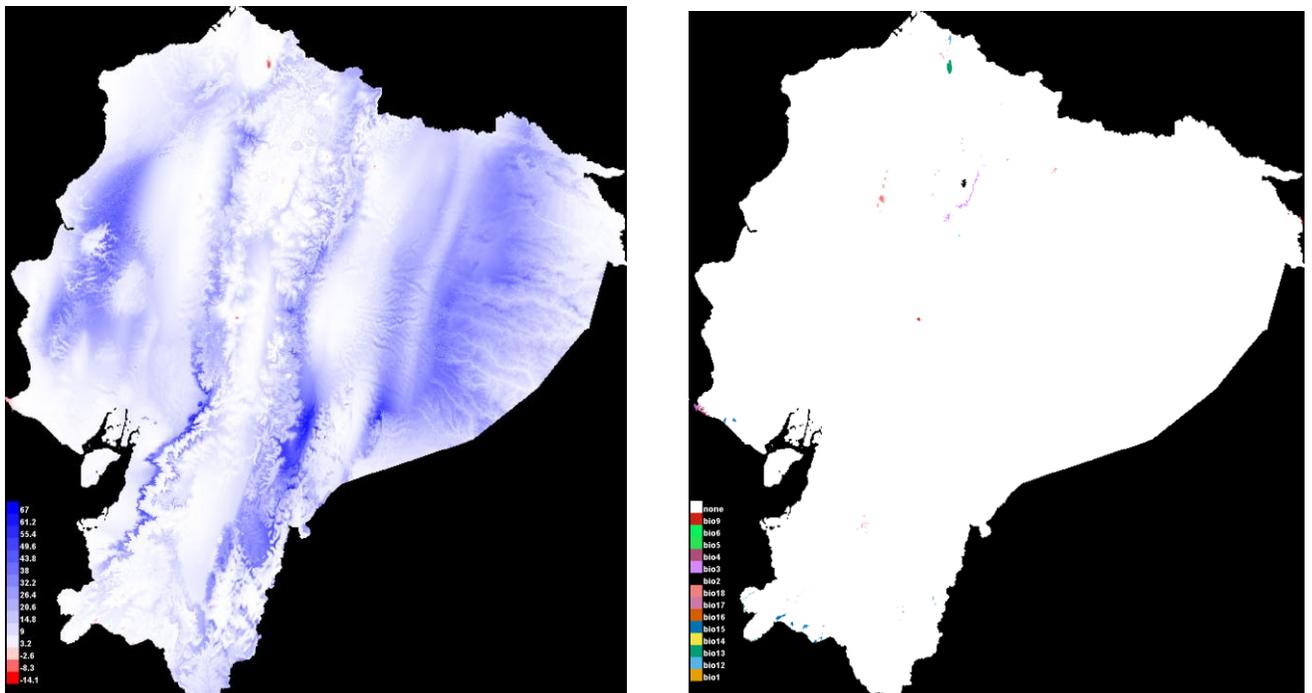
Modelamiento Maxent

Imágenes

Los colores más cálidos muestran áreas con mejores condiciones predichas. Los puntos blancos muestran los lugares de presencia utilizados para el estudio, mientras que los puntos violetas muestran los lugares de prueba.



Las siguientes dos imágenes comparan la similitud ambiental de las variables en maxent con los datos ambientales utilizados para la formación del modelo



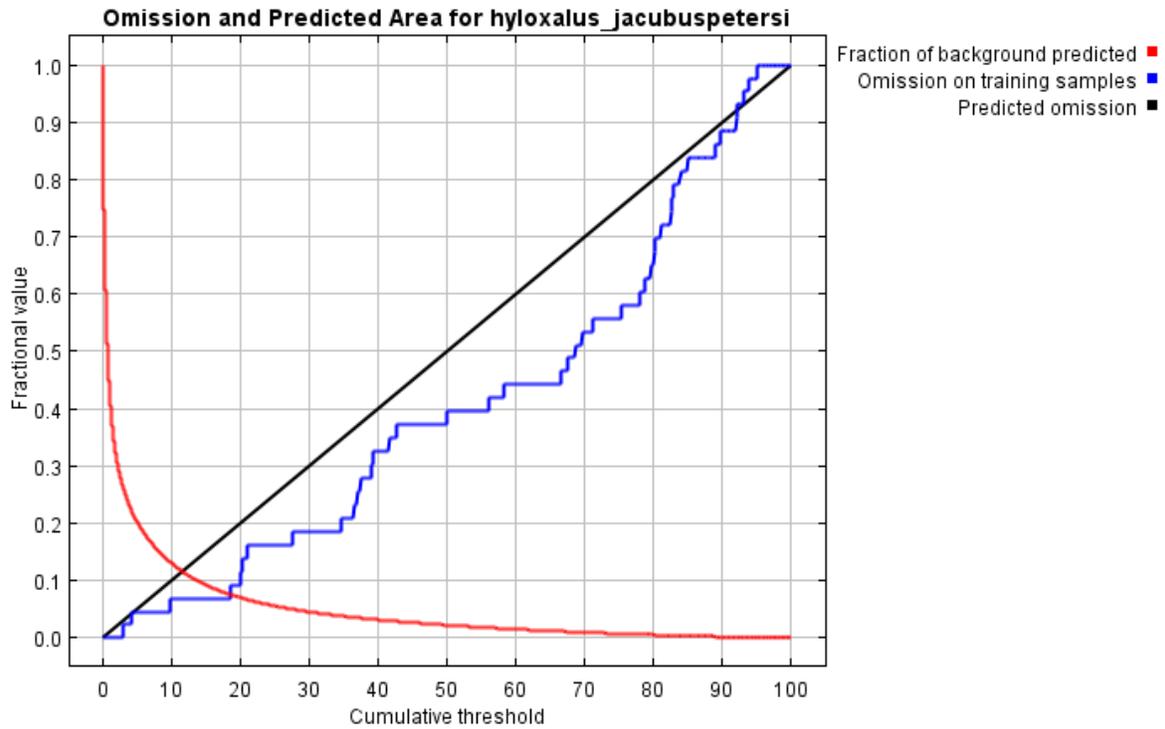
En la primera imagen, las áreas en rojo tienen una o más variables ambientales fuera del rango presente en los datos de entrenamiento, por lo que las predicciones en esas áreas deben ser tratadas con gran precaución.

La segunda imagen, muestra la variable más disímil, es decir, la que está más lejos de su rango de estudio.

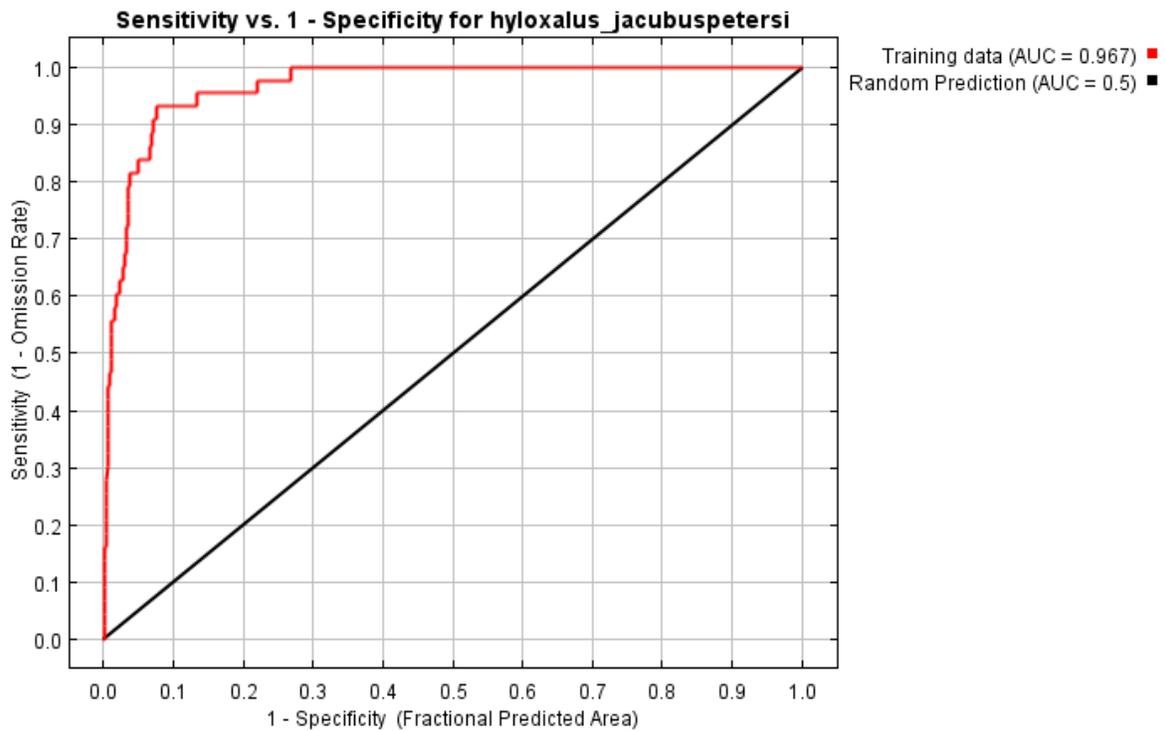
Análisis de Contribución de las Variables Ambientales

Variable	Percent contribution	Permutation importance
bio1	44.1	1.2
bio4	20.8	52.5
bio18	9.7	12.8
bio6	7.7	0
bio3	4.8	0.7
bio15	3.6	8.7
bio13	3.1	10.6
bio9	1.5	3
bio16	1.5	0.7
bio12	1.3	2.6
bio2	1.3	2.6
bio14	0.3	2.5
bio17	0.1	0
bio5	0.1	2.2

La tabla siguiente da estimaciones de las contribuciones relativas de las variables ambientales al modelo de Maxent. Para determinar la primera estimación, en cada iteración del algoritmo de entrenamiento, el aumento de la ganancia regularizada se agrega a la contribución de la variable correspondiente o se resta de ella si el cambio al valor absoluto de lambda es negativo. Para la segunda estimación, para cada variable ambiental a su vez, los valores de esa variable sobre la presencia de entrenamiento y los datos de fondo son permutados aleatoriamente. El modelo se reevalúa en los datos permutados, y la caída resultante en el AUC de formación se muestra en la tabla, normalizado a porcentajes. Al igual que con la variable jackknife, las contribuciones variables deben ser interpretadas con precaución cuando las variables predictoras están correlacionadas.



La siguiente imagen muestra la tasa de omisión y el área predicha en función del umbral acumulativo. La tasa de omisión se calcula tanto en los registros de presencia como en los registros de prueba. La tasa de omisión debe estar cerca de la omisión pronosticada, debido a la definición del umbral acumulativo.



La siguiente imagen es la curva característica de funcionamiento del receptor (ROC) para los mismos datos. Tenga en cuenta que la especificidad se define utilizando el área prevista, en lugar de comisión. Esto implica que el AUC máximo alcanzable es menor que 1. Si los datos de prueba se extraen de la distribución Maxent misma, entonces el AUC de prueba máximo posible sería 0.947 en lugar de 1; En la práctica el AUC de prueba puede exceder este límite.

Cumulative threshold	Logistic threshold	Description	Fractional predicted area	Training omission rate
1.000	0.007	Fixed cumulative value 1	0.421	0.000
5.000	0.053	Fixed cumulative value 5	0.202	0.047
10.000	0.107	Fixed cumulative value 10	0.130	0.070
2.808	0.027	Minimum training presence	0.268	0.000
19.969	0.257	10 percentile training presence	0.071	0.093
18.566	0.236	Equal training sensitivity and specificity	0.076	0.070
18.566	0.236	Maximum training sensitivity plus specificity	0.076	0.070
2.808	0.027	Balance training omission, predicted area and threshold value	0.268	0.000
10.987	0.117	Equate entropy of thresholded and original distributions	0.121	0.070

Algunos umbrales comunes y las correspondientes tasas de omisión son los siguientes. Si se dispone de datos de prueba, las probabilidades binomiales se calculan exactamente si el número de muestras de prueba es como máximo de 25, de lo contrario utilizando una aproximación normal al binomio. Estos son p-valores unilaterales para la hipótesis nula de que los puntos de prueba no se predicen mejor que por una predicción aleatoria con la misma área fraccionada predicha. El umbral de "equilibrio" minimiza $6 * \text{la tasa de omisión de entrenamiento} + .04 * \text{el umbral acumulativo} + 1.6 * \text{el área fraccionada pronosticada}$.