

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

FACULTAD DE INGENIERÍA EN GEOLOGÍA Y PETRÓLEOS

**ENSAYO DE CORRELACIÓN ENTRE LA GEOLOGÍA Y EL ECOSISTEMA,
APLICADO EN EL COMPLEJO VOLCÁNICO PULULAHUA.**

**PROYECTO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO
GEÓLOGO**

LUIS FRANCISCO HERRERA MERA

luisfrancisco_herrera@hotmail.com

DIRECTORA: MSc. ELIANA JIMÉNEZ ÁLVARO

eliana.jimenez@epn.edu.ec

Quito, Diciembre de 2015

DECLARACIÓN

Yo, Luis Francisco Herrera Mera, declaro bajo juramento que el trabajo aquí descrito es de mi autoría; que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

A través de la presente declaración cedo mis derechos de propiedad intelectual correspondientes a este trabajo, a la Escuela Politécnica Nacional, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por la normatividad institucional vigente.

Luis Francisco Herrera Mera

CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por Luis Francisco Herrera Mera, bajo mi supervisión.

MSc. Eliana Jiménez Álvaro

DIRECTORA DE PROYECTO

AGRADECIMIENTOS

Por sobre todas las personas quiero agradecer a mi papá José David Herrera. Gracias por ser mi amigo, por el tiempo que me das para enseñarme cosas significativas, por escucharme, por tratar de entenderme, por ser un ejemplo verdadero de persona, por cuidarme, educarme y darme valores, por consentirme y curarme, por tener la única opinión que verdaderamente me importa y porque no me alcanza la vida entera para decirte lo mucho que te quiero.

A mi mamá Nancy Mera por todo lo que has hecho por nosotros junto con el tiempo y esfuerzo que has invertido en el hogar. A mis tías Mónica y Margarita por el cariño y todo lo que nos han ayudado. A toda mi familia en general.

A mis hermanas Rosi y Ale por el apoyo incondicional, su amor, ayuda y sobretodo la diversión. Gracias Rosi por ayudarme con el financiamiento de casi toda la carrera (entre otras muchas cosas).

A la Ing. Eliana Jiménez por dirigir este proyecto con paciencia, buena voluntad y por tener el coraje de involucrarse aún cuando no tenía mucho tiempo. Así mismo agradezco al Dr. José Luis Rivera por su gran ayuda y colaboración en el desarrollo de este proyecto, por la crítica constructiva y su motivación que tan escasamente he encontrado en la facultad. Al Dr. Daniel Andrade por su aporte en la discusión y mejoramiento de este trabajo. Un agradecimiento también a la Dra. Carolina Bernal.

Mi más sincero agradecimiento a Byron Pilicita y Cristian Panchana por ser tan buenos amigos y estar conmigo en las buenas y en las malas. A Diego Cárdenas, Jonatan Yuquilema, Fernando Tuz, Cristian Núñez y especialmente a Silvia Vallejo.

Al Ing. Víctor Aguayo, Ing. Bernardo Beate y la Dra. Silvana Hidalgo por haberme colaborado desinteresadamente en su debido momento. A Ximena Flores por la valiosísima ayuda que brinda en la facultad.

A los funcionarios del Ministerio de Cultura y Patrimonio, Ministerio del Ambiente y Ministerio de Agricultura, Ganadería, Acuacultura y Pesca por facilitar la información requerida.

DEDICATORIA

En memoria de Mamá Michita.

RESUMEN

El Ciclo Geológico y todos los procesos naturales que comprende representan la base sobre la cual se desarrolla la vida y es el conjunto de factores fundamentales para el desarrollo de todos los ecosistemas. Entender esta estrecha correspondencia entre los factores geológicos y ambientales, la distribución de las especies vegetales y su interrelación es esencial en la declaratoria y conservación del patrimonio ambiental.

El presente estudio examinó la correlación entre las variables: geología, suelos, altitud, temperatura media, precipitación y pendiente en relación con los ecosistemas junto con las formaciones vegetales presentes en un área de 81 km² el Complejo Volcánico Pululahua (CVP) ubicado a 17 km al N de la ciudad de Quito (Ecuador). Esta correlación fue examinada utilizando el software MaxEnt a través del cual se obtuvieron porcentajes de contribución de cada una de las variables en base a puntos de presencia. Los ecosistemas y las formaciones geológicas respondieron de diferente manera a cada una de las variables, pero la geología, el suelo y la altitud demostraron tener la mayor significancia en la contribución al modelo y se concluyó que son las variables generalmente más importantes. La diversidad de ecosistemas y formaciones vegetales fue significativamente predicha con altas porcentajes. Estas coincidencias porcentuales varían entre 61.05 y 74.16 % para los Ecosistemas y entre 61.21 y 70.43 % para las Formaciones Vegetales.

ABSTRACT

The Geological Cycle and all natural processes involved are the basis on which life develops and is the set of key development factors of all ecosystems. Understanding this close correspondence between the geological and environmental factors, the distribution of plant species and their interaction is essential in environment preservation and declaration of natural heritage.

This study examined the correlation between the variables: geology, soil, altitude, mean temperature, precipitation and slope in relation to the ecosystems along with the vegetation present in an area of 81 km² in Pululahua Volcanic Complex located 17 km N of Quito (Ecuador). This correlation was examined using MaxEnt software through which percentage contributions of each of the variables were obtained based on points of presence. Ecosystems and geological formations responded differently to each of the variables, but geology, soil and altitude proved to have the greatest significance in contributing the model and concluded that are generally the more important variables. The diversity of ecosystems and vegetation was significantly predicted with high percentages. These percentages vary from 61.05 to 74.16% for ecosystems and from 61.21 to 70.43% for vegetation.

CONTENIDO

CAPÍTULO 1.....	1
1.1 INTRODUCCIÓN	1
1.2 OBJETIVOS DEL ESTUDIO	3
1.1.1 OBJETIVO GENERAL.....	3
1.1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	3
1.2 ALCANCE DEL ESTUDIO	4
1.3 JUSTIFICATIVOS	4
1.4 ÁREA DE ESTUDIO.....	5
1.4.1 LOCALIZACIÓN	5
1.4.2 POBLACIONES CERCANAS Y VÍAS DE ACCESO	8
1.4.3 MORFOLOGÍA	10
1.4.4 HIDROGRAFÍA.....	10
1.4.5 CLIMA	11
1.4.6 FLORA	12
1.4.7 FAUNA	12
1.5 ASPECTOS CULTURALES	13
1.6 ESTUDIOS ANTERIORES.....	13
CAPÍTULO 2.....	15
2.1 MARCO GEOLÓGICO REGIONAL.....	15
2.2 MARCO GEOLÓGICO LOCAL	18
2.2.1 GEOLOGÍA DEL VOLCÁN PULULAHUA	18
2.2.2 RASGOS ESTRUCTURALES GENERALES DEL VOLCÁN PULULAHUA	20
2.2.3 HISTORIA EVOLUTIVA DEL VOLCÁN PULULAHUA	22
2.3 SUELOS.....	25
2.3.1 Entisol	25

2.3.2	Inceptisol	26
2.3.3	Entisol + Inceptisol.	26
CAPÍTULO 3.....		28
3.1	ECOSISTEMAS PRESENTES EN EL ÁREA DE ESTUDIO.....	28
3.2	FORMACIONES VEGETALES DE LA RESERVA GEOBOTÁNICA PULULAHUA.	31
3.2.1	BOSQUE DE NEBLINA MONTANO EN GALERÍA (1.800-2.000 msnm.) ...	31
3.2.2	BOSQUE DE NEBLINA MONTANO (1.800-3.000 msnm.)	32
3.2.3	MATORRAL DE NEBLINA MONTANO RUPESTRE (2.200-2.400 msnm.)	33
3.2.4	MATORRAL SEMI-SECO MONTANO (2.600-2.700 msnm.).....	34
3.2.5	MATORRAL HÚMEDO MONTANO (2.400-3.000 msnm.)	35
3.2.6	BOSQUE SIEMPRE-VERDE MONTANO-ALTO “CEJA-ANDINA” (3.000- 3.356 msnm.).....	36
3.2.7	TIERRAS AGROPECUARIAS (CHACRAS Y POTREROS) (1.700-2.000; 2.400-2.600 msnm.).....	38
3.2.8	EQUISETAL (2220 m.)	38
CAPÍTULO 4.....		45
4.1	MARCO CONCEPTUAL, METODOLOGÍA Y VARIABLES DE ANÁLISIS. 45	
4.1.2	METODOLOGÍA.....	47
4.1.3	VARIABLES DE ANÁLISIS.....	50
CAPÍTULO 5.....		60
5.1	CORRELACIÓN DE LA GEOLOGÍA Y EL ECOSISTEMA DEL VOLCÁN PULULAHUA.	60
CAPÍTULO 6.....		70
6.1	ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS COMO APOORTE AL ESTUDIO DE LA GEOLOGÍA ECOLÓGICA.....	70
6.1.1	ANÁLISIS DE LA DISTRIBUCIÓN POTENCIAL PARA LOS ECOSISTEMAS 70	

6.1.2 ANÁLISIS DE LA DISTRIBUCIÓN POTENCIAL PARA LAS FORMACIONES VEGETALES	72
CAPÍTULO 7.....	81
7.1 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.	81
7.1.1 Conclusiones.....	81
7.1.2 Recomendaciones.....	83

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. 1– Mapa de ubicación del área de estudio dentro del contexto regional (arriba) y local (abajo).	7
Figura 1. 2 – Mapa del área de estudio con las principales vías de acceso y sitios. Modificado de Google Earth (2014), IGM (2008) y Andrade (2002).	9
Figura 1. 3 – Mapa de la subcuenca del río Guayllabamba dentro de la provincia de Pichincha, modificado de MAGAP (2012).	11
Figura 2. 1 – a) Ecuador con sus tres regiones fisiográficas, b) Ecuador respecto a las placas oceánicas y las Zonas Volcánicas Norte y Centro, y c) Cordilleras Occidental y Oriental junto con los principales volcanes del Arco Volcánico Cuaternario.	16
Figura 2. 2 – Principales lineamientos interpretados. Hacia el centro la caldera del Pululahua, hacia el sur se ubica el volcán Casitagua. Hacia el oriente y suroriente los principales depósitos emplazados con sus direcciones respectivas. Tomado de Andrade (2002).	21
Figura 2. 3 – Esquema en el que se describe la evolución del CVP. En a) el crecimiento de los domos antiguos pre-caldera de la Unidad I, b) crecimiento de los domos pre-caldera jóvenes de la Unidad II, c) formación de la caldera y d) crecimiento de domos post-caldera. Tomado de Andrade (2002).	24
Figura 2. 4 – Mapa de los tipos de suelo en el CVP según el Ministerio de Agricultura, Ganadería, Acuacultura y Pesca (MAGAP, 2012).	27
Figura 3. 1 – Mapa de ubicación del ecosistema Bosque siempreverde montano bajo de Cordillera Occidental de los Andes.	28

Figura 3. 2 – Mapa de ubicación del ecosistema Bosque siempreverde montano de Cordillera Occidental de los Andes.	29
Figura 3. 3 – Mapa de ubicación del ecosistema Bosque y Arbustal semideciduo del norte de los Valles.	29
Figura 3. 4 – Hacia el fondo el Bosque siempreverde montano de cordillera. Desde la parte plana de la caldera (intervenido). Coordenadas UTM: 781182/5142. Elevación: 2300 msnm.....	30
Figura 3. 5 – Bosque de neblina montano en galería en el cañón del río Blanco. Al frente el domo Pondoña. Hacia el fondo a la derecha el borde morfológico de la caldera. Desde el sector de La Reventazón en el camino hacia Nieblí. Coordenadas UTM: 776957/6389. Elevación: 2200 msnm.....	30
Figura 3. 6 – Bosque y arbustal semideciduo (con áreas intervenidas en segundo plano). Desde la loma Cashiurcu. Coordenadas UTM: 784056/7036. Elevación: 2371 msnm.	30
Figura 3. 7 – Mapa del área de estudio con las localidades descritas en cada formación vegetal dentro de este capítulo. Modificado de Google Earth (2014) e IGM (2008).	42
Figura 3. 8 – Mapa de ecosistemas en el CVP según el Ministerio del Ambiente (MAE, 2013).	43
Figura 3. 9 – Mapa de las formaciones vegetales en el CVP interpretado a partir de las descripciones de Cerón (2004) y elaborado para el propósito de este estudio.....	44
Figura 4. 1 – Ejemplo de las diferentes formaciones vegetales y sus respectivas coordenadas ordenadas en un archivo CSV.....	48
Figura 4. 2 – Esquema ilustrativo de la red regular de puntos usada en este estudio.	49
Figura 4. 3 – Imagen ráster de la variable <i>Altitud</i> . Los colores claros representan los valores más altos de altitud y los colores oscuros los más bajos.	51
Figura 4. 4 – Imagen ráster de la variable <i>Pendiente</i> . Los colores claros representan las mayores pendientes y los colores oscuros las menores.	52
Figura 4. 5 – Imagen ráster de la variable <i>Temperatura media</i> . Los colores claros representan los valores más altos y los colores oscuros los más bajos.	53
Figura 4. 6 – Imagen ráster de la variable Precipitación. Los colores claros representan los valores más altos y los colores oscuros los más bajos.....	54
Figura 4. 7 – Imagen ráster de la variable Tipos de suelo (orden). En negro ENTISOL, en gris INCEPTISOL y en blanco ENTISOL + INCEPTISOL (véase también la Fig. 2.4).....	55

Figura 4. 8 – Imagen ráster de la variable <i>Unidad geológica</i> (basado en el mapa geológico de Andrade, 2002).	57
Figura 4. 9 – Imagen ráster de las <i>Formaciones vegetales</i> basado en Cerón (2004).	58
Figura 4. 10 – Imagen ráster de <i>Ecosistemas</i> basado en el Mapa de Ecosistemas (MAE).	59
Figura 5. 1 – Ventana de ingreso de los datos de presencia (izquierda) y las variables geológicas, pedológicas y ambientales (derecha) en MaxEnt.	61
Figura 5. 2 – Test ‘jacknife’ de la importancia de cada variable para el ecosistema Bosque y Arbustal semidecíduo del norte de los valles. Para este ecosistema, las variables suelo y precipitación media tienen mayor importancia.	66
Figura 5. 3 – Test ‘jacknife’ de la importancia de cada variable para el ecosistema Bosque siempreverde montano bajo de Cordillera Occidental de los Andes. Para este ecosistema, las variables altitud y temperatura media tienen mayor importancia.	67
Figura 5. 4 – Test ‘jacknife’ de la importancia de cada variable para el ecosistema Bosque siempreverde montano de Cordillera Occidental de los Andes. Para este ecosistema, las variables geología y suelo tienen mayor importancia.	67
Figura 5. 5 – Test ‘jacknife’ de la importancia de cada variable para el ecosistema Intervenido. Para este ecosistema, las variables pendiente y geología tienen mayor importancia.	67
Figura 5. 6 – Test ‘jacknife’ de la importancia de cada variable para la formación vegetal Bosque de neblina montano. Para esta formación, las variables temperatura media, y altitud tienen mayor importancia.	68
Figura 5. 7 – Test ‘jacknife’ de la importancia de cada variable para la formación vegetal Matorral semiseco montano. Para esta formación, la variable suelo tienen mayor importancia.	68
Figura 5. 8 – Test ‘jacknife’ de la importancia de cada variable para la formación vegetal Matorral húmedo montano. Para esta formación, las variables suelo y temperatura media tienen mayor importancia.	69
Figura 5. 9 – Test ‘jacknife’ de la importancia de cada variable para la formación vegetal Matorral de neblina montano rupestre. Para esta formación, las variables geología y suelo tienen mayor importancia.	69
Figura 5. 10 – Test ‘jacknife’ de la importancia de cada variable para la formación vegetal Bosque siempreverde montano alto. Para esta formación, las variables altitud y temperatura media tienen mayor importancia.	69

Figura 5. 11 – Test ‘jacknife’ de la importancia de cada variable para la formación vegetal Bosque de neblina montano en galería. Para esta formación, la variables altitud y temperatura media tiene mayor importancia.	70
Figura 5. 12 – Test ‘jacknife’ de la importancia de cada variable para la formación vegetal Intervenido. Para esta formación, las variables pendiente y geología tienen mayor importancia.	70
Figura 6. 1 – Comparación de los Ecosistemas con la predicción del programa MaxEnt.	77
Figura 6. 2 – Comparación de las Formaciones Vegetales con la predicción del programa MaxEnt (continúa en la Fig. 6.3).	78
Figura 6. 3 – Comparación de las Formaciones Vegetales con la predicción del programa MaxEnt.	79

INDICE DE TABLAS

Tabla 1. 1 – Vértices del área de estudio.	6
Tabla 3. 1– Localidades muestreadas mediante la modalidad de transectos de 0.1 y 0.01 ha, especies analizadas ≥ 2.5 cm de DAP (diámetro a la altura del pecho) y ≥ 50 cm de alto. Tomado de Cerón (2004).	39
Tabla 3. 2 – Número de especies vegetales y porcentaje de las 20 familias más frecuentes encontradas en la Reserva Geobotánica Pululahua. Tomado de Cerón (2004).	41
Tabla 5. 1 – Contribución de las variables para el ecosistema Bosque y Arbustal semideciduo del norte de los valles.	62
Tabla 5. 2 – Contribución de las variables para el ecosistema Bosque siempreverde montano bajo de Cordillera Occidental de los Andes.	62
Tabla 5. 3 – Contribución de las variables para el ecosistema Bosque siempreverde montano de Cordillera Occidental de los Andes.	63
Tabla 5. 4 – Contribución de las variables para el ecosistema Intervenido.	63

Tabla 5. 5 – Contribución de las variables para la formación vegetal Bosque de neblina montano.....	64
Tabla 5. 6 – Contribución de las variables para la formación vegetal Matorral semiseco montano.	64
Tabla 5. 7 – Contribución de las variables para la formación vegetal Matorral húmedo montano.	64
Tabla 5. 8 – Contribución de las variables para la formación vegetal Matorral de neblina montano rupestre.....	65
Tabla 5. 9 – Contribución de las variables para la formación vegetal Bosque siempreverde montano alto.	65
Tabla 5. 10 – Contribución de las variables para la formación vegetal Bosque de neblina montano en galería.	65
Tabla 5. 11 – Contribución de las variables para la formación Intervenido.	66
Tabla 6. 1 – Resumen de los resultados calculados con el Mapa Formaciones Vegetales.....	75
Tabla 6. 2 – Resumen de los resultados calculados con el Mapa Ecosistemas...	76

CAPÍTULO 1.

1.1 INTRODUCCIÓN

El Ciclo Geológico comprende un conjunto de procesos físicos, químicos y biológicos que actúan de manera continua para generar los elementos abióticos necesarios para la vida. El Ciclo Geológico incluye cuatro subciclos: Tectónico, De las Rocas, Hidrológico y Biogeoquímico.

El subciclo Tectónico es un proceso geológico a gran escala que deforma la corteza terrestre y genera el macro relieve: montañas, cuencas oceánicas y continentes a través de la creación, movimiento y destrucción de las placas, en función de la estructura interna de la Tierra. El subciclo Hidrológico y el De las Rocas intervienen en procesos de transferencia y almacenamiento de los elementos químicos en el agua, el suelo y las rocas.

El Ciclo Biogeoquímico es la transferencia o circulación de elementos a través de la atmósfera, litósfera e hidrósfera, para la generación de la Biósfera. Este subciclo determina procesos internos de tres elementos importantes para la generación de la vida: carbono, nitrógeno y oxígeno. Sin la existencia del Ciclo Geológico sería imposible la existencia de la Biósfera, que es la capa de la Tierra donde se genera la vida presente en los diversos biomas y ecosistemas.

En Ecuador no se han realizado aún investigaciones que contrasten el aspecto geológico con el de los ecosistemas naturales endémicos, ni siquiera se ha podido establecer un tipo de relación entre los elementos abióticos y bióticos en algún sitio del país, aunque se intuye su estrecha relación. Obviamente se sabe que las propiedades de la roca madre, suelo y topografía están interrelacionados y asociadas con las comunidades de plantas, pero el problema es definir cuál es esta asociación y a qué nivel (Touré y Ge, 2014) debido a la complejidad de los sistemas geológicos (Olea, 2009). Como consecuencia de esto existe

información incompleta que dificulta el desarrollo pleno de planes de gestión ambiental y un adecuado monitoreo en las reservas naturales establecidas en Ecuador. El volcán Pululahua es un sitio ideal para el estudio de los rasgos geológicos que permite comprender la evolución geológica y dinámica de esta zona, su geomorfología y su edafología específica. La geomorfología de un territorio determina la geografía, hidrología y clima, aspectos determinante en el tipo de flora (y fauna) presente.

En lo que concierne al volcán Pululahua, en el año 1966 y mediante Decreto Supremo No. 194 se declaró al cerro Pondoña como “Parque Nacional del Estado” (siendo éste la primera reserva proclamada únicamente después de la declaratoria del Archipiélago de Galápagos como “Área Protegida” en 1936) “con sus llanuras circundantes y lomas aledañas” con la finalidad del “mantenimiento de un parque con flora y fauna de esa zona” considerando que tiene “interés para la realización de estudios científicos relacionados con la formación geológica de la Cordillera de los Andes” aunque manteniendo la actividad agrícola que ya había en la época (Registro Oficial No. 715, 1966). En 1978 se cambió la denominación de Parque Nacional del Estado por “Reserva Geobotánica Pululahua” mediante Decreto Supremo No. 2259, incluyéndose los límites de la misma. En 1985 se definieron los límites definitivos de la Reserva Geobotánica Pululahua publicados en el Registro Oficial No. 181. En la actualidad, la Reserva Geobotánica Pululahua tiene una superficie de 3383 hectáreas y pertenece al Sistema Nacional de Áreas Protegidas siendo la segunda reserva más pequeña en el Ecuador continental (Ministerio del Ambiente, 2014). A partir de la declaratoria de gran parte del volcán Pululahua como Reserva Geobotánica se ha sobreentendido que las razones para la existencia de una gran riqueza florística probablemente se encuentran influenciadas por las características geológicas y morfológicas particulares así como también por los rangos climáticos altitudinales y latitudinales, los que en conjunto han dado como resultado el apareamiento de una serie de micro hábitats cuyas relaciones no están entendidas completamente pero se intuye su estrecha correspondencia.

1.2 OBJETIVOS DEL ESTUDIO

1.1.1 OBJETIVO GENERAL

- Contribuir al estudio de la relación existente entre la geología y la flora natural que se desarrollan sobre ésta, en respuesta a la influencia de los factores geológicos y medioambientales, mediante la aplicación de un ensayo de correlación.

1.1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Los objetivos específicos se refieren a:

- Contrastar la respuesta de la flora endémica ante los factores geológicos, geomorfológicos y edafológicos sobre los cuales se asienta la misma, mediante la aplicación de un análisis geoestadístico.
- Establecer relaciones entre la geología del área y el desarrollo del ecosistema.
- Determinar variables geológicas que tengan efectos significativos mediante la correlación.

1.2 ALCANCE DEL ESTUDIO

Para la realización de este proyecto se plantearon las siguientes actividades:

- Recopilación de la información geológica del volcán Pululahua, interpretación y su correspondiente sumarización.
- Recopilación de la información disponible de las variables de análisis en la documentación que provee el Ministerio de Agricultura, Ganadería, Acuacultura y Pesca del Ecuador (MAGAP) y el Ministerio del Ambiente (MAE).
- Estudio recopilatorio de la información acerca de los ecosistemas presentes en el Volcán Pululahua, basado en la publicación de Cerón (2004).
- Interpretación de los mapas temáticos publicados por el Ministerio de Agricultura, Ganadería, Acuacultura y Pesca del Ecuador (MAGAP).
- Análisis, discriminación, y evaluación de los factores de análisis (material parental, tipo de roca, pendiente, elevación, y biodiversidad) mediante la aplicación de métodos geoestadísticos.
- Resumen de los resultados y la elaboración de mapas temáticos con la información obtenida.

1.3 JUSTIFICATIVOS

La investigación propuesta constituye un primer esfuerzo para establecer un trabajo interdisciplinario entre la Geología y la Biología, ciencias que se integran en la Geología Ecológica. La importancia en comprender la relación entre la Geología (como generadora y sustentadora de los ecosistemas) y los ecosistemas particulares de una zona radica en que la primera condiciona el desarrollo de la vida a través de los rasgos geomorfológicos y edafológicos, así como también de las características climáticas específicas. Dicha relación ha sido poco estudiada en el país aunque se han promovido diferentes estudios con el

único fin de mejorar el mantenimiento, conservación y monitoreo de los recursos naturales. Dentro de la Reserva Geobotánica se realizan actualmente proyectos de conservación y promoción turística enfocados a la preservación. La información que se genera tiene como objetivo el apoyar los esfuerzos para mejorar el manejo, preservación y administración de los recursos naturales y los ecosistemas albergados en ellos.

El estudio permitirá realizar una primera aproximación a la relación entre el Ciclo Geológico y los Ecosistemas presentes en una determinada zona, relación que es poco conocida y que a través de los resultados obtenidos pueda ser aplicable para estudios posteriores e investigaciones similares en áreas protegidas cuyo valor geológico intrínseco no ha sido considerado todavía y como información adicional en la toma de decisiones para el establecimiento de políticas de conservación, declaración de patrimonios naturales y puesta en valor de los recursos naturales.

1.4 ÁREA DE ESTUDIO

1.4.1 LOCALIZACIÓN

El Complejo Volcánico Pululahua (CVP) se encuentra localizado en la Cordillera Occidental de los Andes Ecuatorianos (0,044° N; 78,48° O; altura: 3356 msnm) al Norte del volcán Pichincha e inmediatamente junto al volcán Casitagua. Se ubica dentro de la provincia de Pichincha, en el cantón Quito, al norte de la ciudad capital.

La Reserva Geobotánica del Pululahua (RGP) comprende gran parte del Complejo Volcánico Pululahua. Principalmente se limita al área interior de la caldera, incluyéndose las paredes interiores de la misma, y prolongándose hacia el norte sugiriendo una forma de “pera” (Moreano, 2009).

El área de estudio corresponde al Complejo Volcánico Pululahua y la totalidad de la Reserva Geobotánica del Pululahua ocupando una superficie de 81 km²

delimitado por un cuadrado de 9 km de longitud por cada lado, cuyos vértices tienen las siguientes coordenadas:

Tabla 1. 1 – Vértices del área de estudio.

Vértice	Coordenadas UTM Sistema de Referencia WGS 84/17N
Noroeste	775000 m E, 11000 m N
Noreste	784000 m E, 11000 m N
Suroeste	775000 m E, 2000 m N
Sureste	784000 m E, 2000 m N

1.4.2 POBLACIONES CERCANAS Y VÍAS DE ACCESO

El Complejo Volcánico Pululahua se encuentra a 17 km al N de la ciudad de Quito y a 5 km al NO de la ciudad Mitad del Mundo. Es colindante con las poblaciones de Calacalí, San Antonio de Pichincha, Caspigasí del Cármen y Pomasqui (ver Figura 1.1-a). Dentro de la Reserva se encuentra la comunidad de Pululahua, y apenas fuera de ésta, el poblado de San José de Nieblí en el camino hacia Chespí (ver Figura 1.1-b).

Se puede llegar a la Reserva por la Av. Manuel Córdova Galarza, siguiendo la vía Quito – Calacalí desde la Mitad del Mundo y tomando el desvío en el sector de Caspigasí en el km. 4 hasta el mirador en el sector de Ventanillas. Continuando por un sendero peatonal difícil se llega a la Hacienda Pululahua en la parte baja de la caldera; o siguiendo la vía Quito – Calacalí ingresando por el sector de Moraspungo por medio de un camino de segundo orden de 12 kilómetros de longitud, carrozable y sinuoso pero en buen estado, que llega igualmente hasta la parte baja de la caldera y a una bifurcación del camino que conduce hacia Nieblí y hacia la hacienda Pululahua, nuevamente (ver Figura 1.1-b y Figura 1.2).

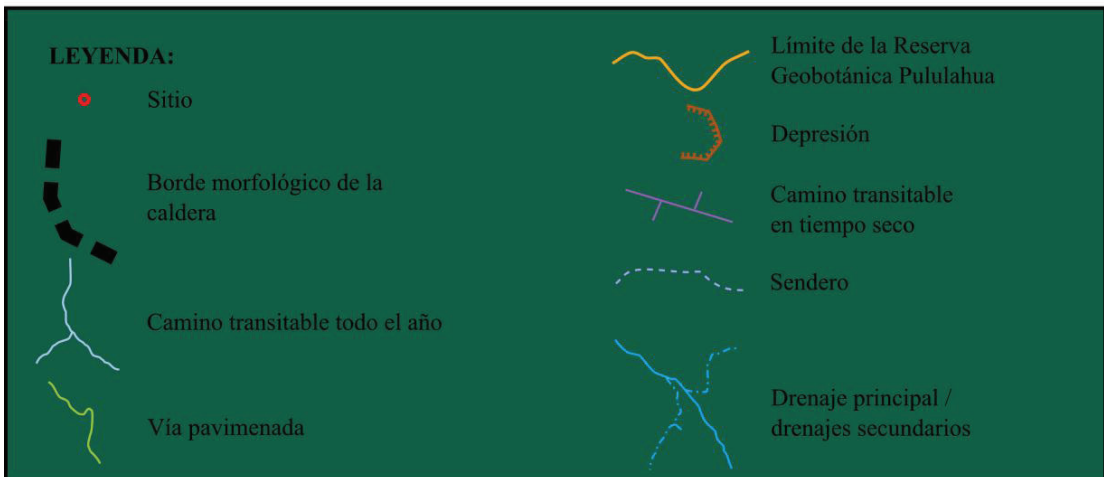
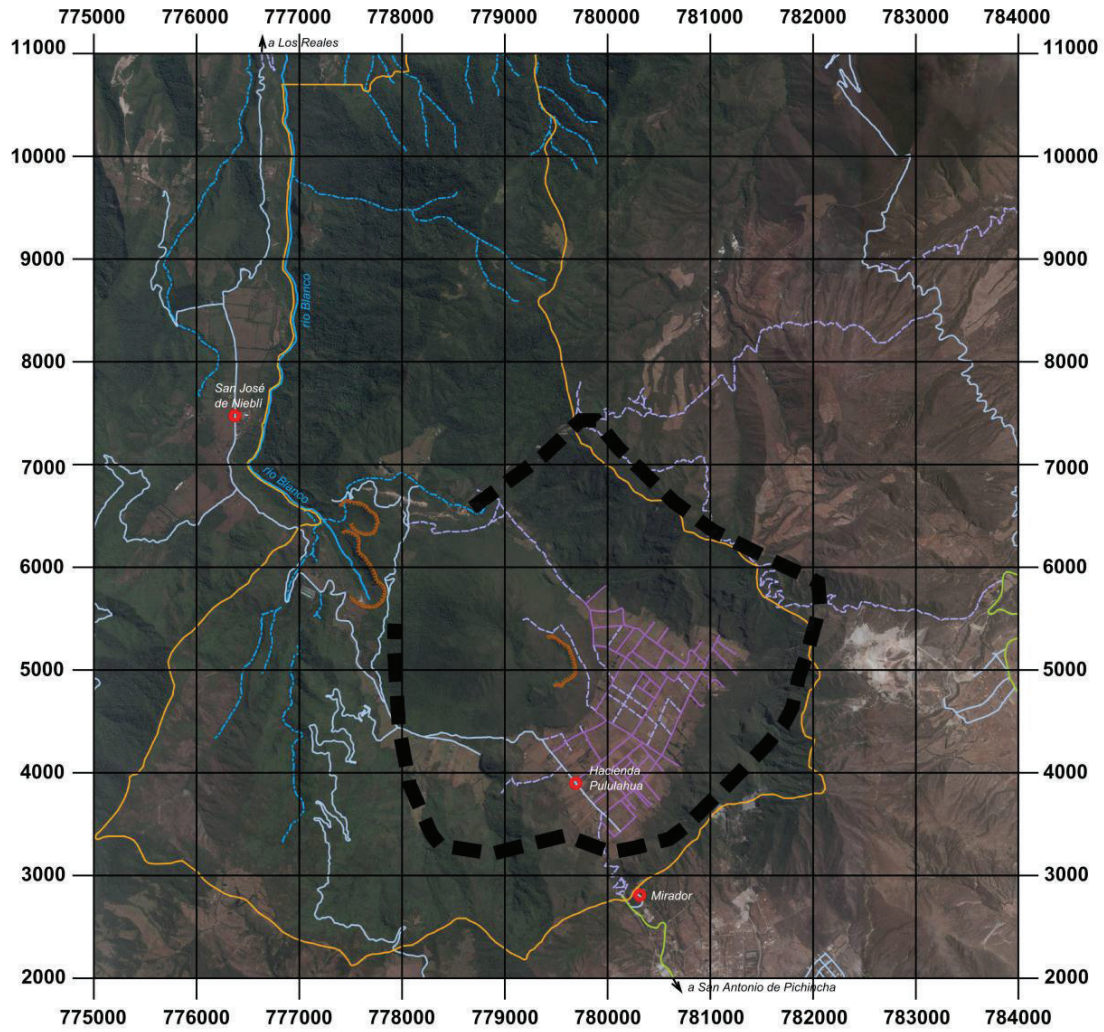


Figura 1. 2 – Mapa del área de estudio con las principales vías de acceso y sitios. Modificado de Google Earth (2014), IGM (2008) y Andrade (2002).

1.4.3 MORFOLOGÍA

Las altitudes oscilan desde los 1700 msnm aproximadamente en la parte más baja de la cuenca del río Blanco a los 3358 msnm en la cima del cerro Sincholagua. Según Andrade (2002), el CVP está conformado por una docena de domos de lava con una caldera cuyo borde tiene forma algo cuadrada influenciada muy probablemente por tectonismo durante su evolución (ver Figura 1.1-b). Los domos forman un relieve colinado alargado con pendientes fuertes que desciende hacia el río Guayllabamba y que están “disectados por cárcavas y barrancos radiales” (Winckell, Zebrowski y Sourdat, 1997) en contraste con las planicies que han dejado los depósitos asociados a la actividad volcánica y las rocas del basamento. El fondo de la caldera es plano (2400 msnm) y según Winckell, Zebrowski y Sourdat (1997) este rasgo morfológico está, al parecer, heredado de antiguos depósitos lacustres. En este fondo plano sobresalen los siguientes domos volcánicos: Pondoña, El Chivo y Pan de Azúcar.

Al este del CVP se agrupan la mayor cantidad de domos, distribuidos en el borde de la caldera, que van descendiendo en altura y se vuelven más erosionados hacia el norte, de acuerdo con Andrade (2002).

1.4.4 HIDROGRAFÍA

Dentro del área de estudio y la Reserva Geobotánica Pululahua los drenajes fluyen principalmente hacia el N. El eje principal de drenaje en la zona es el río Blanco con sus afluentes intermitentes: quebrada La Reventazón, quebrada del Volcán, quebrada Lambiada y la quebrada Chalguayacu. Estos drenajes conforman las cuencas primarias de riachuelos y quebradas que abastecen de agua a la Reserva y a otros lugares fuera de ésta (Rivadeneira-Roura, 2007). El río Blanco forma parte del límite occidental de la Reserva, al NO del área de estudio, y desemboca en el río Guayllabamba (ver Figura 1.1).

Todos los drenajes de la zona de estudio pertenecen a la subcuenca hidrográfica del río Guayllabamba (ver Figura 1.3), ésta a su vez pertenece a la cuenca hidrográfica del río Esmeraldas. La subcuenca del río Guayllabamba ocupa una superficie de 623.623 hectáreas sólo en la provincia de Pichincha (MAGAP, 2012).



Figura 1. 3 – Mapa de la subcuenca del río Guayllabamba dentro de la provincia de Pichincha, modificado de MAGAP (2012).

1.4.5 CLIMA

En la provincia de Pichincha es posible encontrar gran heterogeneidad y fuerte diferenciación climática. En el área de estudio se encuentran dos tipos de clima: Ecuatorial Mesotérmico Semi-Húmedo (600-2000 mm de precipitación) hacia el occidente y abarcando gran parte del área; y Ecuatorial Mesotérmico Seco (<750 mm de precipitación) hacia el oriente del área (MAGAP, 2012).

La temperatura promedio dentro de la Reserva es de 14° a 20 °C (ECOLAP y MAE, 2007). Por las tardes, durante casi todo el año, la Reserva se cubre de

neblina cuando el aire caliente que sube de la costa y asciende por la subcuenca del río Guayllabamba a través del paso del río Blanco se enfría bruscamente al encerrarse en la caldera.

1.4.6 FLORA

La reserva tiene gran diversidad florística especialmente en orquídeas, bromelias y helechos (Cerón, 2004). Dentro de la reserva, la flora está generalmente compuesta por vegetación de tipo arbórea y arbustiva, incluyendo un remanente importante de bosques nublados noroccidentales (ECOLAP y MAE, 2007). Las familias de plantas más abundantes dentro de la Reserva son: la familia de las orquídeas (más de 100 especies), de las bromelias, del girasol, del suro, de la naranjilla, de la papa, de la uvilla y del fréjol (Cerón, 2004). Cerón ha identificado 905 especies vegetales dentro de la Reserva de las cuales 815 (90%) son silvestres y 90 (10%) cultivadas. Asimismo, Cerón (2004) determina 8 formaciones vegetales dispuestas “principalmente en fajas horizontales sobre las vertientes empinadas”.

También se puede encontrar musgos, helechos, líquenes, licopodios, alisos, anturios, hongos, aguacatillo, naranjo, arrayán, platanillo, palmito, zagalitas, zapatitos, colcas, sigses, pumamaquis, chilcas, veneno de perro, moradilla, taxos silvestres, allpa chocho, palma de ramos, tarqui, moya, cascarilla entre muchas otras (Ministerio del Ambiente, 2014).

1.4.7 FAUNA

El Ministerio del Ambiente (2014) en su «Guía Informativa de las Áreas Naturales Protegidas del Ecuador» menciona que en el área se ha registrado 180 especies de aves, entre las cuales se incluye: el águila pechinegra o guarro, el quilico, el mirlo, el gorrión, la golondrina, el gallito de la peña, el huiracchuro, la pava de monte y varias especies de colibrí entre otras. Se ha calculado que existen 30

especies de mamíferos presentes (MAE, Plan de Manejo de 1990 cit. por Rivadeneira-Roura, 2007), entre los cuales destacan: lobos de páramo, zorrillos, soches o venados pequeños, ardillas, chucuris o comadreas andinas, zarigüeyas, cervicabras, conejos, algunos murciélagos fruteros y esporádicamente armadillos, guatusas y osos de anteojos en la parte baja de la Reserva (Rivadeneira-Roura, 2007 y MAE, 2014). Entre los reptiles y anfibios se han registrado tres especies de lagartijas, una de serpientes y dos de sapos (MAE, 2014). Además, se pueden observar una gran cantidad de mariposas y otros insectos.

1.5 ASPECTOS CULTURALES

La hacienda Pululahua fue levantada por españoles durante la Colonia y administrada por la orden religiosa de los Dominicos desde 1825, pero en 1905 la Revolución Liberal Radical confiscó la hacienda y el estado se hizo cargo a través de la Asistencia Social la cual la administró hasta 1979 con el propósito de ayudar a gente pobre (Santacruz, 2013). En 1964 la Reforma Agraria entregó las tierras a los antiguos trabajadores de la hacienda y pobladores del lugar (Santacruz, 2013 y Ministerio del Ambiente, 2014). Actualmente, dicha hacienda está en proceso de reconstrucción con propósitos culturales y turísticos.

Dentro de la Reserva, la población se dedica al cultivo de haba, arveja, alfalfa, fréjol, chocho, col, remolacha, trigo, maíz y muchos productos más. Existen actividades turísticas que ofrecen caminatas y paseos a caballo por los senderos. La caldera es muy visitada los días sábados y domingos por su cercanía con la ciudad capital.

1.6 ESTUDIOS ANTERIORES

En el «Estudio Geovolcanológico del Complejo Volcánico Pululahua», realizado por el Dr. Daniel Andrade en el año 2002, se determinan los principales aspectos

de la estructura, estratigrafía, historia eruptiva, características petrográficas y geoquímicas de los productos volcánicos del complejo, que estaban aún poco conocidos.

El Dr. Carlos Eduardo Cerón tiene amplios estudios sobre las formaciones vegetales y vegetación en la Reserva Geobotánica Pululahua. En 1993 publicó «Plantas útiles de la Reserva Geobotánica del Pululahua, Provincia de Pichincha»; en este trabajo se representan las especies utilizadas por la comunidad dentro de la caldera. En el 2004, el mismo autor presentó el trabajo «Reserva Geobotánica del Pululahua, Formaciones Vegetales, Diversidad, Endemismo y Vegetación» en donde se determina el porcentaje, número de especies vegetales y se clasifican las formaciones vegetales y su diversidad.

La Fundación Ecofondo en conjunto con el Ministerio del Ambiente, impulsaron el Plan de Control y Vigilancia de la Reserva Geobotánica del Pululahua a cargo de David Suárez-Duque (compilador). Esta investigación realizada en el 2010, muestra una mirada global del sistema natural presente en la zona y su valor biológico, así como las acciones para su preservación.

En la revista «Nuestro Patrimonio» No. 41 de febrero de 2013, del Ministerio Coordinador de Patrimonio, la comunicadora Gabriela Santacruz aborda un estudio de la Hacienda Pululahua en cuanto a su historia, memoria y naturaleza contribuyendo al estudio de las potencialidades turísticas de esta zona y su importancia dentro del patrimonio material e inmaterial.

CAPÍTULO 2.

2.1 MARCO GEOLÓGICO REGIONAL

El Ecuador continental tiene tres regiones fisiográficas que comprenden la planicie costanera (costa), las cordilleras andinas (sierra) y la cuenca amazónica (oriente) (Figura 2.1-a). Los Andes en Ecuador están formados por la Cordillera Occidental y la Cordillera Oriental (también llamada Cordillera Real). Estas cordilleras andinas paralelas forman parte del segmento sur de la Zona Volcánica Norte (NVZ) y sobre las cuales yace el Arco Volcánico Cuaternario del Ecuador (Figura 2.1-b).

La Cordillera Occidental y la Cordillera Real están separadas por una depresión alargada en sentido Norte-Sur con una profundidad fisiográfica de aproximadamente 2000 metros (Litherland y Aspden, 1992) relleno de rocas volcánicas y volcanosedimentarias que datan del Plioceno y Cuaternario (Hughes y Pilatasig, 2002). Esta depresión de unos 20-30 km de ancho y 300 km de longitud (Hall et al., 2008) se la conoce como Valle Interandino. Este valle se ensancha hacia el norte de Ecuador y desaparece hacia el sur del país donde Los Andes forman una sola y amplia cadena montañosa (Hall et al., 2008) (ver Figura 2.1-c).

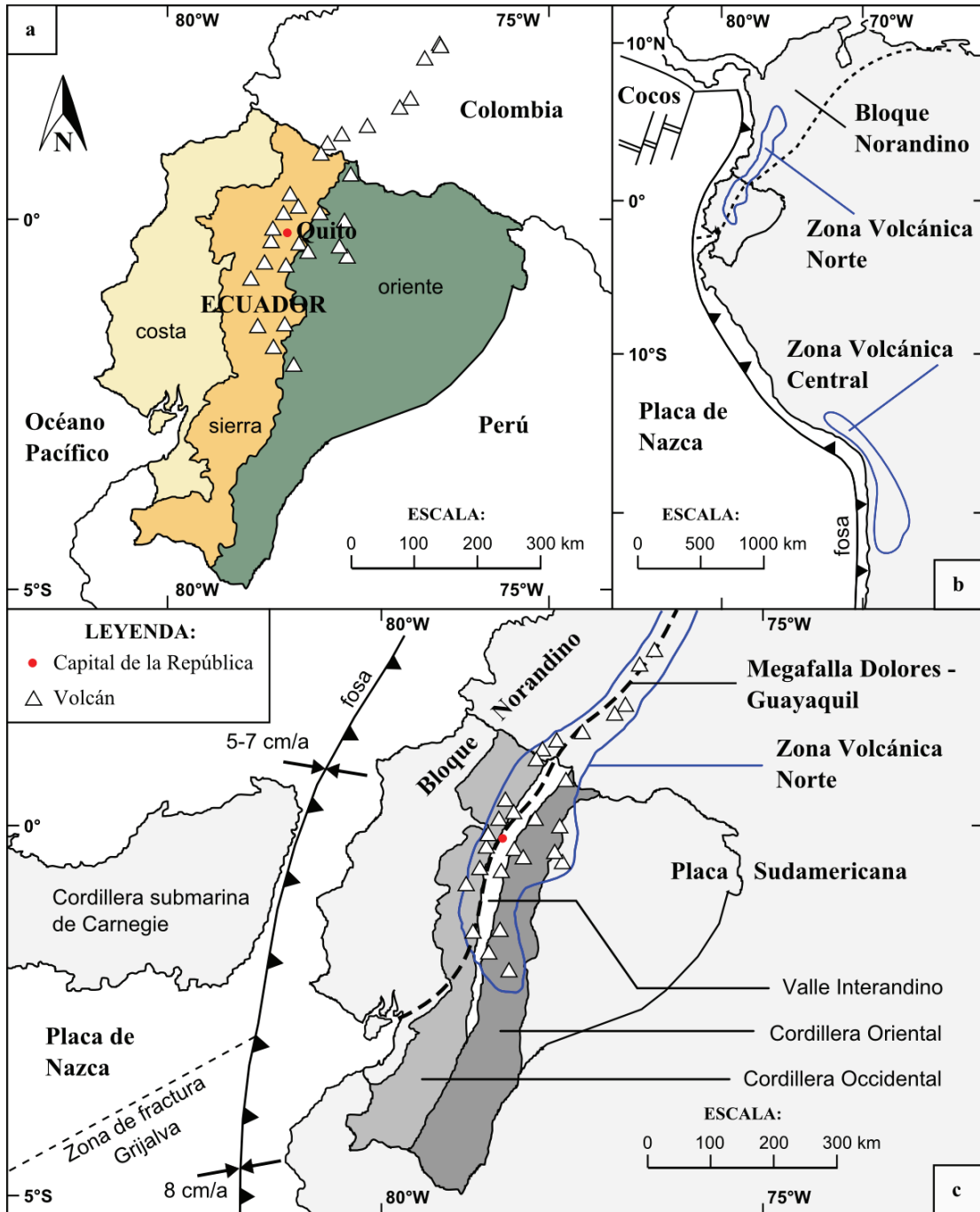


Figura 2. 1 – a) Ecuador con sus tres regiones fisiográficas, b) Ecuador respecto a las placas oceánicas y las Zonas Volcánicas Norte y Centro, y c) Cordilleras Occidental y Oriental junto con los principales volcanes del Arco Volcánico Cuaternario.

La Cordillera Real comprende en su mayoría extensos terrenos de rocas metamórficas intruídas por granitoides del Mesozoico temprano a medio (Kerr, et

al, 2002). La Cordillera Occidental consiste de un grupo de terrenos oceánicos alóctonos de edad Cretácico – Terciario acrecionados al margen sudamericano, y comprenden rocas volcánicas basálticas y volcanoclásticas (Hughes y Pilatasig, 2002). La Cordillera Occidental está intruída por granitos que datan del Eoceno medio al Terciario tardío y está sobreyacida por rocas de arco volcánico continental del Eoceno tardío. (Kerr et al, 2002; Hughes y Pilatasig, 2002).

Estructuralmente, el límite occidental de la Cordillera Occidental está representado por el fuerte contraste topográfico que separa los flancos de la cordillera con las secuencias aluviales de la planicie costanera, y el límite oriental es la Zona de Fallamiento Activo Pujilí (Hughes y Pilatasig, 2002) o también llamada Zona de Sutura Calacalí - Pallatanga. Esta zona de fallamiento que delimita el borde occidental del valle interandino está marcada por los complejos ofiolíticos de Saloya, Pujilí y Pallatanga (Hughes y Pilatasig, 2002). Esta misma zona de fallamiento (junto con la Falla Peltetec en la Cordillera Real) y la mayoría de los más importantes centros volcánicos del Plio-Pleistoceno aparentan tener paralelismo (Hall & Beate, 1991) y estar relacionados espacialmente (Litherland y Aspden, 1992). Hall & Beate (1991) propusieron que todo el frente volcánico está controlado por un tren de fallas y fracturas con orientación paralela a la cordillera (NNE) cuyas intersecciones con fallas diagonales importantes (ver Figura 2.2) definen la ubicación de los centros volcánicos. Estos centros volcánicos están distribuidos en ambas cordilleras y al interior del Valle Interandino. Adicionalmente, Hall y Beate (1991) reconocen también otra zona de volcanismo al pie oriental de la Cordillera Real, denominada la Zona Subandina. Los centros volcánicos en la Cordillera Occidental componen el Frente Volcánico Ecuatoriano y está formado en su mayoría por una fila de estratovolcanes activos y potencialmente activos que datan del Cuaternario, emplazados en terrenos andesíticos y riolíticos del Plioceno. Los centros eruptivos localizados a lo largo del frente volcánico están espaciados sistemáticamente entre 30 y 35 km, especialmente en su parte central (Hall et al., 2008).

2.2 MARCO GEOLÓGICO LOCAL

2.2.1 GEOLOGÍA DEL VOLCÁN PULULAHUA

Andrade (2002) resume la geología del Complejo Volcánico Pululahua (CVP) definiendo sus elementos estructurales¹, de la siguiente forma:

2.2.1.1 El basamento:

Define dos grupos de unidades que conforman el basamento del CVP divididos según la predominancia de rasgos estructurales, agrupados de la siguiente manera:

2.2.1.1.1 El basamento Cretácico – Paleógeno:

Subyaciendo al Complejo Volcánico Pululahua, y aflorando hacia el occidente, se encuentran las rocas deformadas cretácico - paleógenas de la Cordillera Occidental pertenecientes a las formaciones Pallatanga, Natividad, Yunguilla y Rumi Cruz.

Al oriente, se presume que estas rocas subyacen las secuencias volcano-sedimentarias que son parte de las formaciones Pisque, San Miguel y Cangahua y que pertenecen a la cuenca intramontañosa de Guayllabamba.

Andrade interpreta a estas rocas como “barreras” que restringieron ampliamente las zonas de depositación de los derivados volcánicos del CVP en los flancos norte y occidente, jugando un papel muy importante en la evolución del volcán, con todos los ventos situados hacia el este y sur de estas unidades.

2.2.1.1.2 El basamento Plio - Pleistocénico:

Subyaciendo el CVP y aflorando hacia el Este, aparecen secuencias de rocas sedimentarias pliocénicas pertenecientes a la Formación Pisque conformando el sustrato del CVP en la mayor parte de su zona oriental. La formación

¹ D. Andrade dilucida la historia eruptiva del CVP a partir de 15 columnas estratigráficas detallando el tipo de actividad, los depósitos asociados, la evolución del complejo y las características petrográficas y geoquímicas del mismo publicadas junto con un mapa geológico inédito.

pleistocénica San Miguel aflora al este-sureste del CVP, subyaciendo en discordancia angular a los depósitos volcánicos del Pululahua y sobreyaciendo a la Formación Pisque; aparece también al interior de la caldera en la base del domo Maucaquito. La formación Cangahua aparece al pie oriental del CVP concordante sobre la formación San Miguel mientras que los depósitos volcánicos del Pululahua yacen en discordancia.

2.2.1.2 Las estructuras volcánicas:

Andrade (2002), en su estudio del Complejo Volcánico Pululahua agrupó las estructuras volcánicas en 5 unidades:

2.2.1.2.1 Serie volcánica pre-Pululahua

Constituida por un grupo de coladas de lava con estructuras y lajamiento horizontales, tobas rojizas con restos de escoria básica y capas de pómez retrabajadas y bien consolidadas. Aflora en las lomas El Mirador y Padre Rumi. Esta serie está interpretada como una prolongación del edificio del volcán Casitahua.

2.2.1.2.2 Domos pre-caldera antiguos

Consiste de los domos Cashiurcu, El Hospital, Maucaquito, El Placer y Fraililoma, ubicados al noreste del CVP. Están bastante erosionados y forman ahora un grupo de colinas redondeadas. Conforman lo que Andrade llamó la Unidad I.

2.2.1.2.3 Domos pre-caldera jóvenes

Forma el flanco sureste del CVP. Conforman el flanco sureste del CVP. Consiste de los domos Sincholagua, Shaygua, La Marca y Trigoladera. Conforman lo que Andrade llamó la Unidad II. El domo Sincholagua es el domo que alcanza la mayor altura en el CVP.

2.2.1.2.4 Domos post-caldera

A este grupo pertenecen los domos más jóvenes localizados al interior de la caldera. Estos domos tienen un grado de erosión bajo. Su orden de crecimiento aparente es: Rumiloma, Rumiloma II y Pondoña.

2.2.1.2.5 Planicies de depósitos volcánicos

Corresponden a las llanuras resultado del relleno de antiguos valles con potentes flujos piroclásticos, aluviales y depósitos de caída. Estas llanuras están presentes en todos los flancos de la caldera y fueron depositadas durante las erupciones explosivas que formaron el cráter del Pululahua, antes de la formación y emplazamiento de los domos post-caldera.

2.2.2 RASGOS ESTRUCTURALES GENERALES DEL VOLCÁN PULULAHUA

Al igual que los volcanes Pichincha e Ilaló, el Pululahua tiene una caldera “abierta” hacia el occidente, cuyo diámetro alcanza 3,5 km en su eje menor y 5 km en su eje mayor formando una gran depresión. La forma de la caldera no es regular, y tiene forma algo rectangular. Los lados de este rectángulo están representados hacia el occidente y suroccidente por relieves preexistentes a la formación de la caldera y que no fueron mayormente afectados durante su evolución. La Serie Volcánica pre-Pululahua, las Unidades I y II y parte del basamento afectados por varios eventos explosivos han formado las paredes inclinadas en los lados oriental, nororiental y sur. Andrade (2002) también menciona que la Falla inversa de Quito, que en su parte final norte prácticamente subyace al CVP (a una profundidad de 10 km aproximadamente), y junto con la Falla de Nono, han dominado en gran parte la formación y evolución de la caldera (ver Figura 2.2).

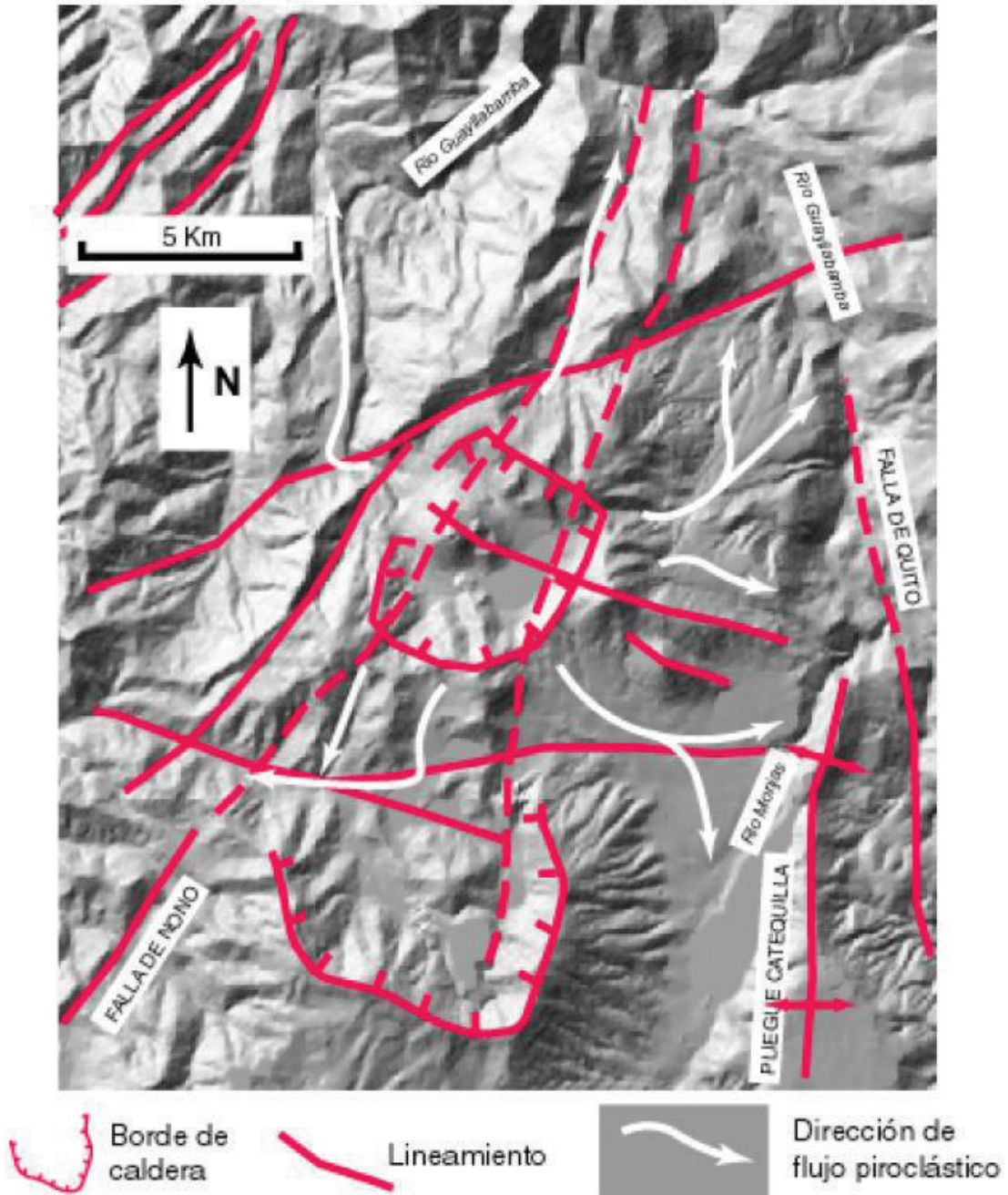


Figura 2. 2 – Principales lineamientos interpretados. Hacia el centro la caldera del Pululahua, hacia el sur se ubica el volcán Casitagua. Hacia el oriente y suroriente los principales depósitos emplazados con sus direcciones respectivas. Tomado de Andrade (2002).

2.2.3 HISTORIA EVOLUTIVA DEL VOLCÁN PULULAHUA

Andrade (2002) describe la historia volcánica del CVP dividiéndola en tres períodos principales: 1) Período pre-caldera, 2) Período syn-caldera y 3) Período post-caldera (ver Figura 2.3).

A estos períodos los describe de la siguiente manera:

2.2.3.1 Período pre-caldera

Se caracteriza por la emisión de productos magmáticos de composición dacítica que resultaron en el crecimiento de los domos pertenecientes a lo que Andrade llamó Unidades I y II (ver abajo). Describe a la actividad de este período como efusiva, resultando en emisiones pobres en gases (ausencia de pómez) y el emplazamiento de depósitos volcánicos locales. Asociados a estas unidades se encuentran depósitos de colapso de domos y depósitos retrabajados provenientes de los mismos.

2.2.3.1.1 La Unidad I: Domos pre-caldera antiguos

Consiste en un grupo de domos extruidos inicialmente cuyos depósitos fueron descritos en la zona de Charhuayacu, al norte del CVP, y en las zonas más proximales a los domos Cashiurcu y El Hospital. Los depósitos asociados con estos domos son de tipo colapso de domos o también llamados “block and ash”.

Estos domos y sus respectivos depósitos asociados habrían constituido un límite geográfico para el desarrollo de la Unidad II (ver Figura 2.3-a).

2.2.3.1.2 La Unidad II:

El grupo de domos que conforman la Unidad II se formó creciendo hacia el sur y oeste de la Unidad I destruyendo parcialmente domos existentes localizados hacia el sur. Al igual que la Unidad I, los depósitos asociados con estos domos son de tipo colapso de domos o también llamados “block and ash” (ver Figura 2.3-b).

2.2.3.1 Período syn-caldera

En este período ocurrieron varios eventos explosivos que derivaron en la destrucción de gran parte de domos de las Unidades I y II, dando lugar a la formación de la caldera. Estos eventos explosivos provocaron el emplazamiento de grandes flujos piroclásticos y depósitos de caídas ricas en lapilli de pómez.

Andrade (2002) interpreta a este período como duradero en el tiempo debido a la presencia de importantes superficies de erosión y la formación de paleosuelos intercalados (ver Figura 2.3-c).

2.2.3.2 Período post-caldera

Este período comprende la extrusión de un nuevo grupo de domos al interior de la caldera (Unidad III) y un relleno parcial de la misma con nuevos flujos “block and ash”. Además ocurrió también la depositación de un conjunto de varias capas poco potentes de pómez. La mayoría de estas capas están retrabajadas al oriente del complejo o principalmente totalmente erosionadas en la zona oriental del CVP (ver Figura 2.3-d). Según Andrade (2002) estos depósitos de caída se encuentran intercalados en una matriz de cenizas gruesas y finas de color caqui a café, parcialmente afectadas por pedogénesis. Esta matriz transicionalmente se convierte en la capa de suelo actual cuyo espesor varía entre 30 y 60 cm.

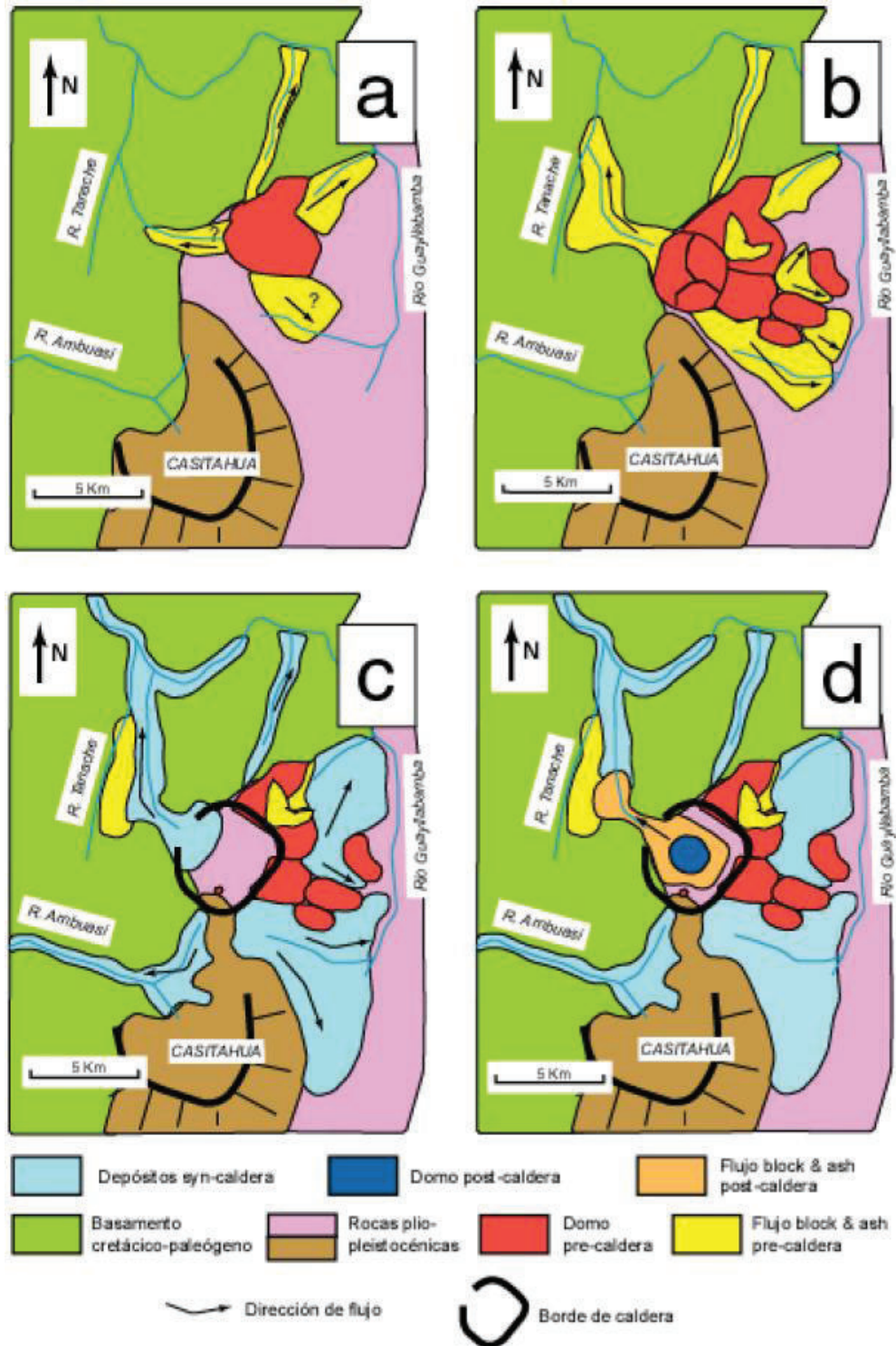


Figura 2. 3 – Esquema en el que se describe la evolución del CVP. En a) el crecimiento de los domos antiguos pre-caldera de la Unidad I, b) crecimiento de los domos pre-caldera jóvenes de la Unidad II, c) formación de la caldera y d) crecimiento de domos post-caldera. Tomado de Andrade (2002).

2.3 SUELOS

El Ministerio de Agricultura, Ganadería, Acuacultura y Pesca (MAGAP) clasifica taxonómicamente a los suelos en la provincia de Pichincha en 5 órdenes: Entisol, Histosol, Inceptisol, Inceptisol + Entisol y Mollisol. En la zona de estudio, se encuentran presentes únicamente tres órdenes de suelos, descritos de la siguiente manera:

2.3.1 Entisol

Este orden está restringido al centro norte de la provincia de Pichincha, ocupa 108.260 ha que representan el 11,4% de la superficie total de la provincia (MAGAP, 2012).

Se caracterizan por ser suelos jóvenes y tener un escaso o nulo desarrollo pedogenético debido a que el tiempo de desarrollo ha sido corto, por lo cual se encuentran muy poco evolucionados (IEE, 2013). Sus propiedades están fuertemente determinadas por el material parental y tiene un dominio de materiales minerales en su composición, por lo que la ausencia de horizontes pedogénicos puede ser el resultado del material parental inerte, roca dura, velocidad de erosión en las pendientes mayor a la formación de horizontes o depósitos recientes de ceniza o ceniza antigua pero poco meteorizados debido a condiciones climáticas muy secas (Ping, 2000).

En el cantón Quito, este orden de suelos está relacionado con pendientes fuertes (Valdivieso, 2005). En el cantón Quito se encuentran espacialmente distribuidos en las formas de relieves montañosos, relieves volcánicos colinados muy altos, llanuras de depósitos volcánicos, conos de deyección antiguos, flujos de lava, terrazas colgadas (IEE, 2013). En el área de estudio se ubican mayoritariamente desde al nor-oriental al sur-occidental de la Reserva.

2.3.2 Inceptisol

Este orden está ampliamente distribuido en la provincia de Pichincha, ocupa 536.589 ha que representan el 56,3 % de la superficie total de la provincia (MAGAP, 2012).

Se caracterizan por ser suelos poco evolucionados, pero con mayor evolución que el orden Entisol. Se pueden formar en casi cualquier ambiente y pueden ocurrir en una variedad de formas (IEE, 2013). En el cantón Quito, este orden de suelos se encuentran espacialmente distribuidos en los relieves de vertientes abruptas, relieves volcánicos colinados medios, coluvio aluviales antiguos y valles intramontañosos (IEE, 2013).

2.3.3 Entisol + Inceptisol.

Este orden se distribuye principalmente al nor-occidente de la provincia de Pichincha, ocupa 71.840 hectáreas el 7,5% de la superficie total de la provincia (MAGAP, 2012). Ocurre principalmente al SO del área de estudio.

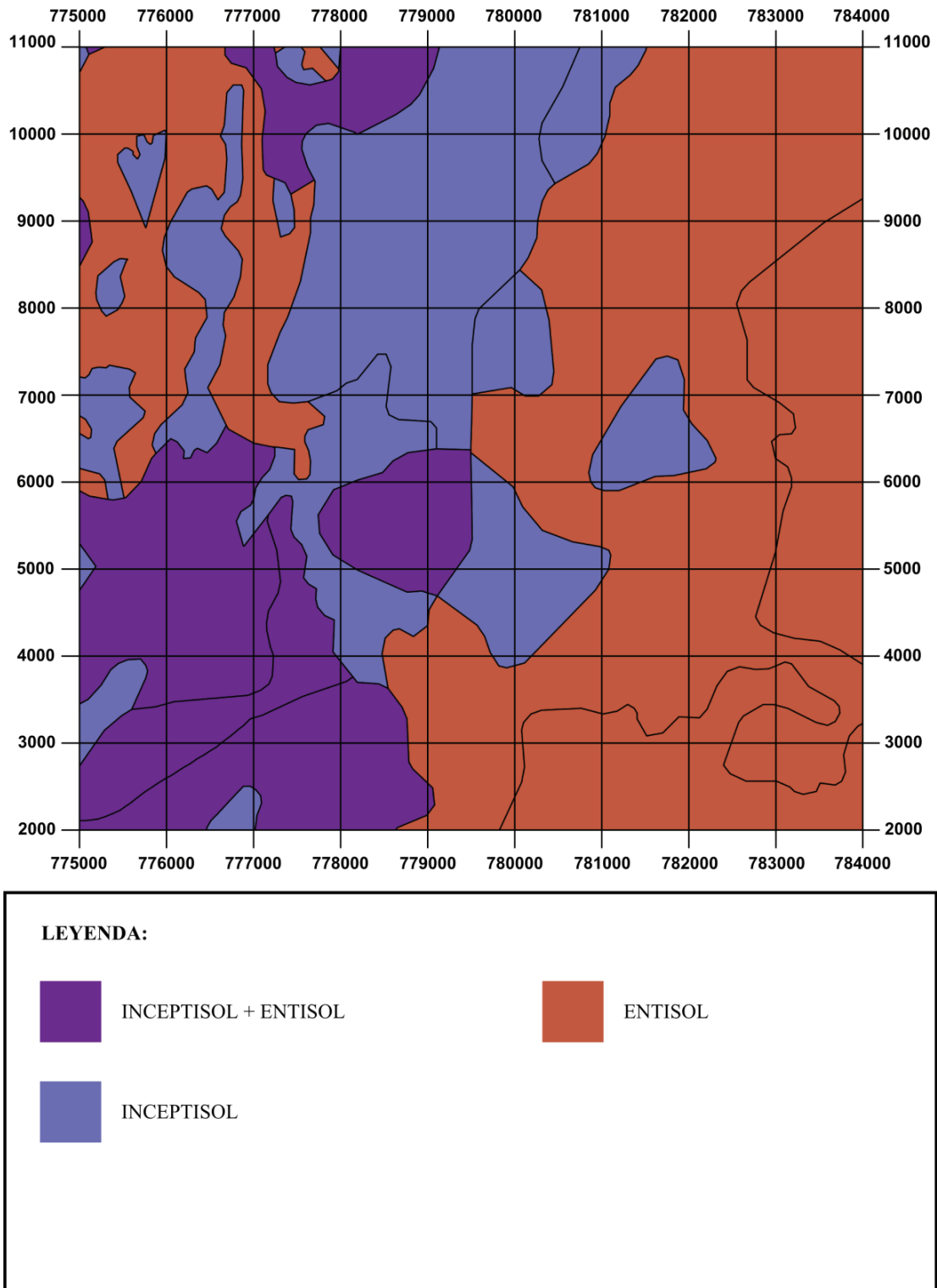


Figura 2. 4 – Mapa de los tipos de suelo en el CVP según el Ministerio de Agricultura, Ganadería, Acuacultura y Pesca (MAGAP, 2012)

CAPÍTULO 3.

3.1 ECOSISTEMAS PRESENTES EN EL ÁREA DE ESTUDIO

El Ministerio del Ambiente del Ecuador (MAE) en su Mapa de Ecosistemas del Ecuador Continental describe en el área de estudio 3 ecosistemas (de 91 para el Ecuador continental): Bosque siempreverde montano bajo de Cordillera Occidental de los Andes, Bosque siempreverde montano de Cordillera Occidental de los Andes y Bosque y Arbustal semideciduo del norte de los Valles. Las áreas restantes, dentro del área de estudio, que no forman parte de los tres ecosistemas citados anteriormente pertenecen a un ecosistema adicional intervenido por las actividades antrópicas.

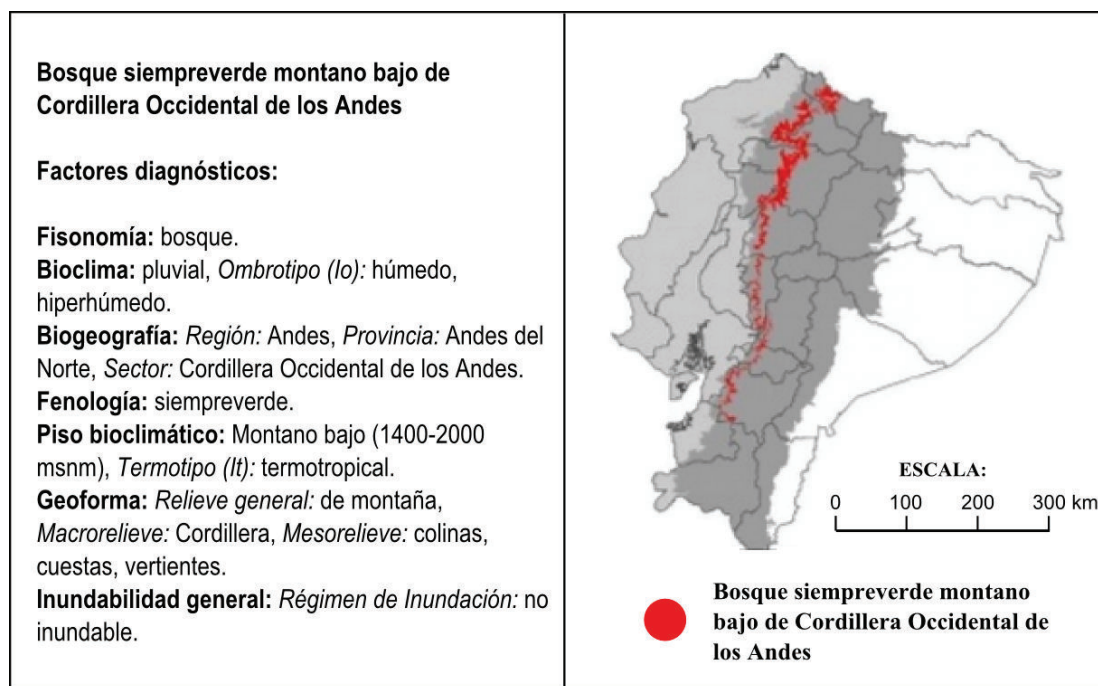


Figura 3. 1 – Mapa de ubicación del ecosistema Bosque siempreverde montano bajo de Cordillera Occidental de los Andes.

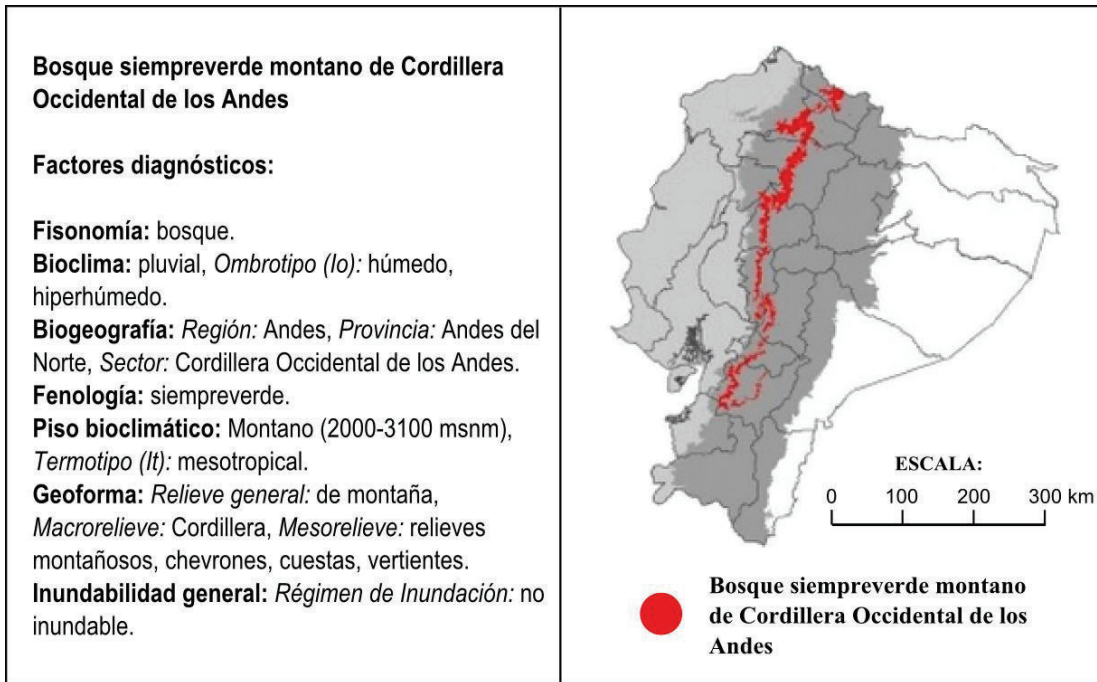


Figura 3. 2 – Mapa de ubicación del ecosistema Bosque siempreverde montano de Cordillera Occidental de los Andes.

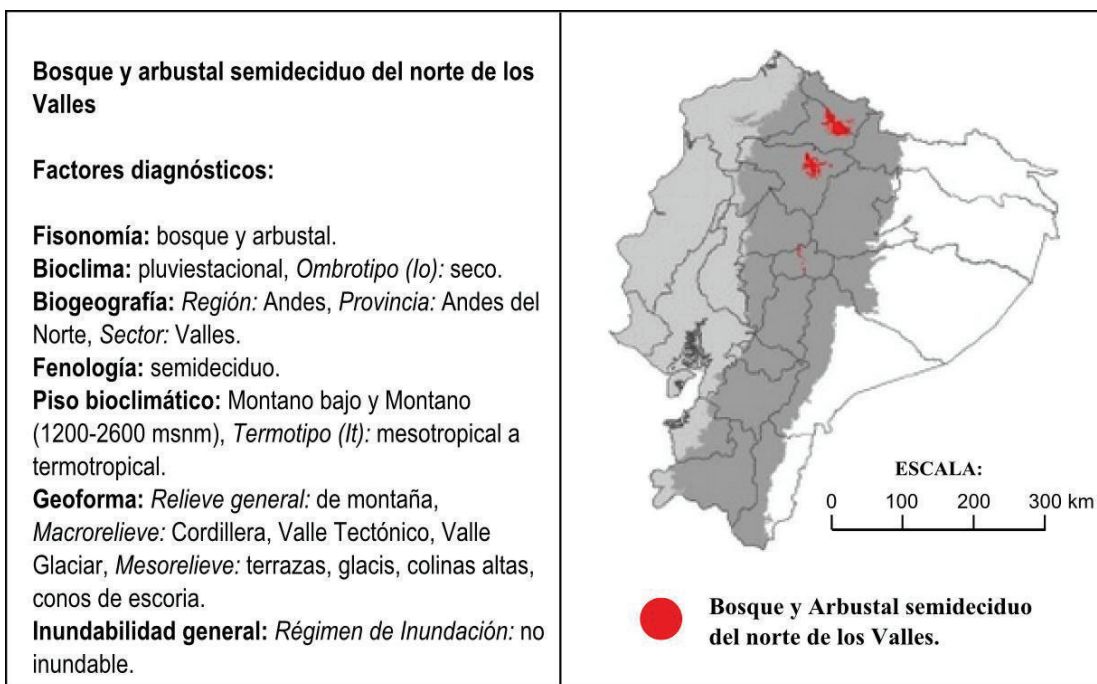


Figura 3. 3 – Mapa de ubicación del ecosistema Bosque y Arbustal semideciduo del norte de los Valles.



Figura 3. 4 – Hacia el fondo el Bosque siempreverde montano de cordillera. Desde la parte plana de la caldera (intervenido). Coordenadas UTM: 781182/5142. Elevación: 2300 msnm.



Figura 3. 5 – Bosque de neblina montano en galería en el cañón del río Blanco. Al frente el domo Pondoña. Hacia el fondo a la derecha el borde morfológico de la caldera. Desde el sector de La Reventazón en el camino hacia Nieblí. Coordenadas UTM: 776957/6389. Elevación: 2200 msnm.



Figura 3. 6 – Bosque y arbustal semideciduo (con áreas intervenidas en segundo plano). Desde la loma Cashiurcu. Coordenadas UTM: 784056/7036. Elevación: 2371 msnm.

Dentro de estos diferentes ecosistemas, y siguiendo en el área de estudio, se tienen varias formaciones vegetales.

3.2 FORMACIONES VEGETALES DE LA RESERVA GEOBOTÁNICA PULULAHUA.

Cerón (2004) menciona que los diferentes tipos de vegetación en el área están dispuestos principalmente en franjas horizontales sobre las vertientes empinadas. Aunque no se dispone de estudios completos sobre la flora de la Reserva, Cerón diferencia 8 formaciones vegetales, descritas de la siguiente manera:

3.2.1 BOSQUE DE NEBLINA MONTANO EN GALERÍA (1.800-2.000 msnm.)

Esta formación está distribuida a lo largo del cañón del río Blanco, cuya profundidad es superior a 100 m; y desde el Pailón hasta el sector del Infiernillo corre paralelo por la izquierda de la carretera a la hacienda de Nieblí por la derecha al sendero que comunica Chaupisacha-Los Reales (ver Figura 3.7 y Figura 3.9).

Vegetación característica: *Ficus cuatrecasana*, *F. subandina* (moraceae), *Cecropia máxima* (Cecropiaceae), *Llaguna nitida* (Sapindaceae), *Juglans neotropica* (Juglandaceae), *Freziera canescens*, *F. tomentosa* (Theaceae), *Trema micrantha* (Ulmaceae), *Toxicodendron striatum* (Anacardiaceae), *Buddleja bullata* (Buddlejaceae), *Bohemeria caudata* (Urticaceae), *Acnistus arborescens* (Solanaceae), *Xanthoxylum fagara*, *X. lepidopteriphilium* (Rutaceae), *Piper carpunya*, *P. grande* (Piperaceae), *Miconia rivetti*, *M. kraenzlinii* Cogn. Subsp. *Aequatorialis*, *Blakea involvens* (Melastomataceae), *Stigmaphyllon bogotense* (Malpighiaceae), *Phoradendron undulatum*, *Dendrophtora obliqua* (Viscaceae), *Clusia multiflora* (Clusiaceae), *Delostoma integrifolia* (Bignoniaceae), *Barnadesia arborea* (Asteraceae), *Oreopanax confusum*, *O. palamophyllus* (Araliaceae), *Saurauia pseudodostrigillosa* (Actinidiaceae), *Banara glauca* (Flacourtiaceae), *Aegiphila alba*, *Durantha tomentosa* (Verbenaceae), *Meriania drakei* (Melastomataceae), *Hyeronima asperifolia* Pax & Hoffm. (Euphorbiaceae), *Morus*

insignis (Moraceae), *Escallonia paniculata* (Grossulariaceae), *Tillandsia fraseri*, *To. Complanata*, *T. superba*, *T. homostachya* (Bromeliaceae).

Diversidad: En el cañón del río Blanco, sector Chaupisacha, en 0,1 Ha. se encontró 32 especies $\geq 2,5$ cm. de DAP en una altitud fluctuante entre 1.950 y 2.000 msnm.

3.2.2 BOSQUE DE NEBLINA MONTANO (1.800-3.000 msnm.)

Esta formación está localizada en la parte noroccidental de la Reserva en el sector de Los Reales, Lulumbamba y se extiende por la parte alta de la Reventazón hasta limitar con la loma del Lavadero, en la parte sur de la Reserva se localiza en una pequeña porción remanente ubicada por detrás del cerro El Chivo en el sitio de los tanques de captación de agua conocido como Hierba Buena, Qhishoturo y El Placer. Esta formación debió haber sido una sola junto a los Reales y Lulumbamba (ver Figura 3.7 y Figura 3.9).

En el sector de Los Reales, las especies más frecuentes son: *Prestoea acuminata* (Arecaceae), seguido de *Palicourea padifolia* (Rubiaceae), *Heliconia impudica* (Heliconiaceae), *Hyeronima macrocarpa* (Euporbiaceae), a estas especies las acompañan: *Tibouchina lepidota* (Melastomataceae), *Meliosma arenosa* (Sabiaceae), *Cinchona pubescens* (Rubiaceae), *Delostoma integrifolia* (Bignoniaceae), *Morus insignis* (Moraceae), *Clusia multiflora* (Clusiaceae), *Rhamnus granulosa* (Rhamnaceae), *Sphaeradenia steyermarkii* (Cyclanthaceae), *Piper imperiale* (Piperaceae), *Pitcairnia sodiroi* (Bromeliaceae), *Cyathea caracasana* (Cyatheaceae), *Anthurium dolichostachyum*, *A. mindense*, *A. microspadix* (Araceae), *Weinmannia pinnata* (Cunnoniaceae), *Saurauia tomentosa* (Actinidiaceae), *Cecropia maxima* (Cecropiaceae).

En la parte sur de la reserva cerca a la loma el Lavadero y los tanques de captación de agua la formación está caracterizada por las siguientes especies

vegetales: *Persea mutisii*, *Ocotea sericea* (Lauraceae), *Roupala obovata* (Proteaceae), *Miconia theazeans*, *Meriania tometosa* (Melastomataceae), *Chusquea subulata*, *Ch. scandens* (Poaceae), *Myrcianthes alaternifolia* (Myrtaceae), *Dendrophorbium llonense*, *Cryptoniopsis sodiroi* (Asteraceae), *Abatia parvifolia* (Flacourtiaceae), *Cedrela montana* (Meliaceae), *Saurauia tomentosa* (Actinidiaceae), *Gunnera brephogea* (Haloragaceae), *Anthurium dolichostachyum*, *A. umbraculum*, *A. scabrinerve* (Araceae), *Cappanea affinis* (Gesneriaceae).

Diversidad: En el sector de Los Reales, en 0,1 Ha. se encontró 46 especies \geq 2,5 cm. de DAP a una altitud de 1.800 msnm.

3.2.3 MATORRAL DE NEBLINA MONTANO RUPESTRE (2.200-2.400 msnm.)

Se localiza en el centro occidente de la Reserva entre la quebrada Reventazón al pie occidental del domo Pondoña, al margen sur del Pailón y el río Blanco (ver Figura 3.7 y Figura 3.9). Es una de las formaciones vegetales más pequeñas y únicas de la Reserva. Cerón (2004) menciona que la vegetación de esta formación es un matorral disperso con predominio de plantas coloniales.

Vegetación característica: *Pernettya prostata* (Ericaceae), *Pleurothallis restrepioides*, *Epidendrum jamiesonis*, *Elleanthus robustus*, *E. sodiroi*, *Oncidium pentadactylon* (Orchidaceae), *Elaphoglossum leptophyllum*, *E. cuspidatum* (Orchidaceae), *Cortaderia nitida* (Poaceae), *Cavendishia bracteata*, *Macleania cordifolia* (Ericaceae), *Morella pubescens* (Myricaceae), *Racinaefraseri*, *Tillandsia secunda*, *Puya aequatorialis* (Bromaliaceae), *Baccharis latifolia*, *Ageratina pseudochilca* (Asteraceae), *Lycopodium clavatum*, *L. thyoides* (Lycopodiaceae), manchones de *Pteridium arachnoideum* (Dennstaedtiaceae), *Columellia oblonga* subsp. *sericea* (Columelliaceae), *Mimosa albida* (Mimosaceae), *Dodonaea viscosa* (Sapindaceae) y *Alnus acuminata* subsp. *acuminata* (Betulaceae).

Diversidad: En 0,01 Ha. en el sector La Reventazón se encontró 33 especies \geq 50 cm. de alto.

3.2.4 MATORRAL SEMI-SECO MONTANO (2.600-2.700 msnm.)

Se localiza en una pequeña franja alrededor de la caldera del volcán entre la parte plana de la base del interior de la caldera hasta el inicio de la pendiente. Es un residuo con especies aisladas de una formación antiguamente más grande ahora convertida en chacras y potreros (ver Figura 3.7 y Figura 3.9).

Vegetación característica: *Satureja stachyoides* (Lamiaceae), *Arcytophyllum thymifolium* (Rubiaceae), *Paspalum humboldtianum* (Poaceae), *Chamaesyce hyssopifolia* (Euphorbiaceae). A estas especies frecuentes acompañan *Mimosa quitensis*, *M. albida* (Mimosaceae), *Lantana rugulosa*, *Aloysia scorodonoides* (Verbenaceae), *Bidens andicola*, *Vernonia canescens*, *Dasiphyllum popayanense* (Asteraceae), *Croton pycnanthus*, *C. menthodoros* (Euphorbiaceae), *Myrcianthes alaternifolia* (Myrtaceae), *Coriaria ruscifolia* (Coriaceae), *Macleania cordifolia* (Ericaceae), *Blechnum occidentale* (Blechnaceae), *Coursetia dubia*, *Desmodium mollicolum* (Fabaceae), *Cynanchum microphyllum* (Asclepiadaceae), *Cordia lantanoides* (Boraginaceae), *Stipa mucronulata*, *Cenchrus echinatus* (Poaceae), *Lamuoroxia virgata* (Scrophulariaceae), *Hyptis eriocephala*, *Mystostachys mollis*, *Lepechinia bullata* (Lamiaceae), *Cheilanthes bonariensis*, *Ch. miriophylla*, *Pellaea ternifolia* (Adiantaceae), *Arracacia xanthorrhiza* (Apiaceae), *Heppiela ulmifolia* (Gesneriaceae), *Paedranasa dubia* (Amarillidaceae), *Bomarea microcephala* (Alstroemeriaceae), *Althernanthera porrigens* (Amaranthaceae), *Polygala paniculata* (Polygonaceae), *Margyricarpus pinnatus* (Rosaceae), *Oxalis latifolia* (Oxalidaceae), *Puya aequatorialis* (Bromeliaceae), *Bletia catenulata* (Orchidaceae), *Hypericum silenoides* (Hypericaceae).

Diversidad: en 0,01 de Ha. en la base oriental del cerro Pondoña Chico, a una altitud de 2.600 m., se encontró 47 especies \geq 50 cm. de alto.

3.2.5 MATORRAL HÚMEDO MONTANO (2.400-3.000 msnm.)

Junto con la formación Bosque de neblina montano, son las dos más grandes de la Reserva y probablemente una sola unidad vegetal antes de ser intervenida. Esta unidad está dominada por la gran humedad ambiental a causa de la densa neblina. Se distribuye en la parte centro, sur, oriente y occidente de la Reserva cubriendo completamente al domo Pondoña, Chivo, Tarcá, Loma del Hospital, pendiente del Romerillal (La Rinconada), parte media del cerro Sincholagua, La Ventanilla, El Mirador, parte media del Padre Rumi, loma La Monja, parte media de la loma Papatena, Moraspungo, loma Lambiada y quebrada Del Volcán (ver Figura 3.7 y Figura 3.9).

Vegetación característica: *Elleanthus gastroglottis*, *E. sodiroi*, *E. gracilis* (Orchidaceae), *Pernnettya prostata*, *Maclenia cordifolia* (Ericaceae), *Baccharis teindalensis*, *Liabum igniarium*, *Dasyphyllum popayanense* (Asteraceae), *Collumellia oblonga* subsp. *sericea* (Collumelliaceae), *Hypericum laricifolium* (Hypericaceae), *Niphidium crassifolium* (Polypodiaceae), *Blechnum occidentale* (Blechnaceae) y *Schazachyrium hirtiflorus* (Poaceae). A estas especies dominantes acompañan: *Mintostachys mollis* (Lamiaceae), *Ageratina pseudochilca*, *Bidens andicola*, *Liabum igniarum*, *Baccharis latifolia*, *Barnadesia arborea* (Asteraceae), *Arcythophyllum thymifolium*, *Galium hypocarpicum* (Rubiaceae), *Heppiela ulmifolia* (Gesneriaceae), *Coursetia dubia*, *Cologania broussonetti* (Fabaceae), *Hesperomeles obtusifolia*, *Rubus boliviensis* (Rosaceae), *Oxalis spiralis* (Oxalidaceae), *Tillandsia lajensis* (Bromeliaceae), *Coriaria ruscifolia* (Coriariaceae), *Cynanchum microphyllum* (Asclepiadaceae), *Myrcianthes alaternifolia*, *M. fragans* (Myrtaceae), *Peperomia galioides*, *Piper barbatum* (Piperaceae), *Elasis hirsuta* (Commelinaceae), *Iresine diffusa*,

Alternanthera porrigens (Amaranthaceae), *Pitcairnia pugens* (Bromeliaceae), *Cestrum peruvianum*, *Solanum caripense*, *S. brevifolium*, *Sessea vestita* (Solanaceae), *Fuchsia dependens* (Onagraceae), *Calceolaria sericea*, *C. crenata*, *Alonsoa meridionalis* (Scrophulariaceae), *Escallonia myrtilloides* (Grossulariaceae), *Oreopanax confusum*, *O. ecuadorensis* (Araliaceae), *Cavendishia bracteata* (Ericaceae), *Viburnum triphyllum* (Caprifoliaceae), *Passiflora mixta* var. *Eriantha*, *P. alnifolia* (Passifloraceae), *Bocconia integrifolia* (Papaveraceae), *Leandra subseriata*, *Miconia crocea*, *Tibouchina mollis* (Melastomataceae), *Chusquea scandens* (Poaceae), *Bohemeria ulmifolia*, *Phenax rugosus* (Urticaceae), *Buddleja bullata* (Buddlejaceae), *Phyllanthus salviaefolius* (Euphorbiaceae), *Geissanthus pichincae* (Myrsinaceae), *Vallea stipularis* (Elaeocarpaceae), *Anthurium incurvatum* (Araceae).

Diversidad: En muestreos de 0,01 Ha. en parte media del cerro Sincholagua se encontró 34 especies \geq 50 cm. de alto, en la cumbre del Pondoña Chico 51 especies \geq 50 cm. de alto, en la loma del Hospital 47 especies \geq 50 cm. de alto, en la cumbre del cerro El Chivo 48 especies \geq 50 cm. de alto, en el sector denominado Romerillal (La Rinconada) 44 especies \geq 50 cm. de alto. En la base del cerro Sincholagua a 2900 m. en 0,1 Ha. Se encontró 24 especies \geq 2,5 cm. de DAP.

3.2.6 BOSQUE SIEMPRE-VERDE MONTANO-ALTO “CEJA-ANDINA” (3.000-3.356 msnm.)

Se localiza siguiendo la línea de cumbre y límite de la Reserva en la parte centro, oriente, sur y suroccidente, en lugares como: parte alta del Bucal, loma el Lavadero, Maucaquito, loma Mamavento, sector La Marca en el cerro Sincholagua, loma Padre Rumi, Yacocucho, loma Papatena, Moraspungo y el Volcán desde los 3.000 msn hasta el límite más alto de la Reserva (ver Figura 3.7 y Figura 3.9).

Vegetación característica: *Hedyosmum luteynii* (Chloranthaceae), *Chusquea lechmanii*, *Ch. scandens* (Poaceae), *Sessea vestita* (Solanaceae), *Miconia crocea* (Melastomataceae), *Oreopanax ecuadorensis* (Araliaceae), *Escallonia myrtilloides* (Grossulariaceae), *Hypericum laricifolium* (Hypericaceae), *Columellia oblonga* subsp. *sericea* (Columelliaceae) y *Cavendishia bracteata* (Ericaceae). A estas especies dominantes acompañan: *Elleanthus gastroglottis* (Orchidaceae), *Pernnettya prostata* (Ericaceae), *Baccharis genisteloides*, *B. latifolia*, *B. teindalensis*, *Barnadesia arborea*, *Dendrophorbium lloense*, *Oligactis pichinchensis* (Asteraceae), *Ephedra rupestris* (Ephedraceae), *Orthrosanthus chimboracensis* (Iridaceae), *Hesperomeles obtusifolia* (Rosaceae), *Passiflora mixta* var. *Eryantha* (Passifloraceae), *Brachyotum ledifolium*, *Miconia crocea*, *Tibouchina mollis* (Melastomataceae), *Galium hypocarpicum* (Rubiaceae), *Coriaria ruscifolia* (Coriariaceae), *Siphocamphylus giganteus* (Campanulaceae), *Monnina obovata*, *M. pseudopilosa* (Polygalaceae), *Geissanthus argutos* (Myrsinaceae), *Palicourea heterochroma* (Rubiaceae), *Vallea stipularis* (Elaeocarpaceae), *Piper andreanum*, *P. barbatum* (Piperaceae), *Saurauia tomentosa* (Actinidiaceae), *Tournefortia fuliginosa* (Boraginaceae), *Persea mutisii* (Lauraceae), *Myrcianthes fragans* (Myrtaceae), *Alloplectus ichthyoderma*, *Columnnea strigosa* (Gesneriaceae), *Malaxis excavata*, *Epidendrum geminiflorum* (Orchidaceae), *Tillandsia lajensis* y *Racinaea homostachya* (Bromeliaceae).

Diversidad: En 0,1 Ha. en el Padre Rumi a 3.100 m. se encontró 28 especies \geq 2.5 cm. de DAP. En 0,01, en el Padre Rumi a 3.050 se encontró 16 especies \geq 2.5 cm. de DAP. En 0,01 Ha., en la loma San Bartolo (Moraspungo) a 3.100 m, se encontró 40 especies \geq 50 cm. de alto.

3.2.7 TIERRAS AGROPECUARIAS (CHACRAS Y POTREROS) (1.700-2.000; 2.400-2.600 msnm.)

Dentro de esta formación se incluyen las chacras y potreros producto de la acción antrópica. Se localiza en los sectores denominados La Greda, alrededores del cerro El Chivo, Pondoña, San Isidro, La Rinconada y Ruiz Loma. Además siguiendo la carretera tanto hacia Nieblí como hacia La Reventazón y también siguiendo la carretera hacia Los Reales (ver Figura 3.7 y Figura 3.9).

La especie vegetal más cultivada en la caldera es el maíz *Zea mays* (Poaceae) acompañada en menor cantidad de: fréjol *Phaseolus coccineus*, haba *Vicia fava*, alfalfa *Medicago sativa*, avilla *Lathyrus sativus*, chocho *Lupinus mutabilis*, arveja *Pisum sativum* (Fabaceae), papa *Solanum tuberosum* (Solanaceae), cebada *Hordeum vulgare*, trigo *Triticum aestivum*, avena *Avena sativa* (Poaceae), zanahoria blanca *Arracacia xanthorryza*, col *Brassica oleracea* (Brassicaceae), sambo *Curcubita moschata*, zapallo *Curcubita pepo* (Curcubitaceae). Como pasto se cultivan los pastos *Pennisetum peruvianum* y *Anthoxanthum odoratum*, olco *Holcus lanatus*, pasto azul *Dactylis glomerata* y reigras *Lilium perenne* (Poaceae).

3.2.8 EQUISETAL (2220 m.)

Se ubica dentro de la formación Bosque de Neblina Montano, donde nace el río Blanco y base del Pailón, junto a aguas termales y la formación de pequeños riachuelos que originan pantanos de 4 ha aproximadamente. Por ser una formación puntual y por motivos del presente trabajo, esta formación no está tomada en cuenta.

Vegetación característica: sector dominado por camas de la especie “Caballo chupa” de hasta 4 m. de alto *Equisetum giganteum* (Equisetaceae), alrededor de esta especie se encuentran ocasionalmente en forma alternada otras especies como: *Cinchona pubescens* (Rubiaceae), *Delostoma integrifolia* (Bignoniaceae),

Piper sodiroi, *P. barbatum*, *P. carpunya* (Piperaceae), *Clusia pavonii* (Clusiaceae), *Barnadesia parviflora* (Asteraceae), *Miconia versicolor* (Melastomataceae), *Thelipteris* spp. (Thelipteridaceae), *Blechnum* spp. (Blechnaceae), *Pleurothallis* spp., *Odontoglossum* sp. (Orchidaceae) y *Siparuna echinata* (Monimiaceae).

Según Cerón (2004), a excepción de los terrenos empleados en la agricultura, la vegetación natural al interior y en las paredes del volcán se encuentra en plena recuperación. Los muestreos para determinar la diversidad fueron realizados mediante la aplicación de la metodología de transectos.

Tabla 3. 1– Localidades muestreadas mediante la modalidad de transectos de 0.1 y 0.01 ha, especies analizadas ≥ 2.5 cm de DAP (diámetro a la altura del pecho) y ≥ 50 cm de alto. Tomado de Cerón (2004).

Localidad	Altitud (msnm.)	Número de especies	Número de individuos	Especies frecuentes 1, 2, 3 y 4.
Cerro Sincholagua	3.000	34	191	<i>Elleanthus gastroglottis</i>
				<i>Pernettya prostrata</i>
				<i>Baccharis teindalensis</i>
				<i>Columellia oblonga</i>
Cerro Sincholagua**	2.900	24	184	<i>Piper barbatum</i>
				<i>Barnadesia arbórea</i>
				<i>Sessea vestita</i>
				<i>Dasyphyllum popayanense</i>
Pondoña (base)	2.600	47	344	<i>Satureja stachyoides</i>
				<i>Arcytophyllum thymifolium</i>
				<i>Paspalum humboldtianum</i>
				<i>Chamaesyce hyssopifolia</i>
Pondoña Pequeño	2.900	51	245	<i>Pernettya prostrata</i>
				<i>Niphidium crassifolium</i>
				<i>Macleania cordifolia</i>
				<i>Liabum igniarium</i>
Moraspungo	3.050	40	244	<i>Hypericum laricifolium</i>
				<i>Columellia oblonga</i>
				<i>Elleanthus gastroglottis</i>
				<i>Cavendishia bracteata</i>

Localidad	Altitud (msnm.)	Número de especies	Número de individuos	Especies frecuentes 1, 2, 3 y 4.
Padre Rumi (medio)	2.950	38	355	<i>Elleanthus gracilis</i>
				<i>Arcytophyllum thymifolium</i>
				<i>Macleania cordifolia</i>
				<i>Columellia oblonga</i>
Padre Rumi*	3.050	16	118	<i>Chusquea scandens</i>
				<i>Escallonia myrtilloides</i>
				<i>Sessea vestita</i>
				<i>Miconia crocea</i>
Padre Rumi**	3.100	28	204	<i>Hedyosmum luteynii</i>
				<i>Chusquea lehmannii</i>
				<i>Sessea vestita</i>
				<i>Miconia crocea</i>
La Reventazón	2.300	33	343	<i>Pernnettya prostrata</i>
				<i>Pleurothallis restrepioides</i>
				<i>Andropogon sp.</i>
				<i>Elaphoglossum leptophyllum</i>
El Hospital	2.900	47	476	<i>Liabum igniarum</i>
				<i>Pernnettya prostrata</i>
				<i>Elleanthus gastroglottis</i>
				<i>Arcytophyllum thymifolium</i>
Cerro Chivo (cumbre)	2.730	48	597	<i>Elleanthus sodiroi</i>
				<i>Arcytophyllum thymifolium</i>
				<i>Macleania cordifolia</i>
				<i>Schazachyrium hirtiflorus</i>
La Rinconada	2.630	44	558	<i>Arcytophyllum thymifolium</i>
				<i>Blechnum occidentale</i>
				<i>Columellia oblonga</i>
				<i>Macleania cordifolia</i>
Los Reales**	2.200	46	377	<i>Prestoea acuminata</i>
				<i>Palicourea padifolia</i>
				<i>Heliconia impúdica</i>
				<i>Hyeronima macrocarpa</i>
Río Blanco**	1.975	32	169	<i>Clusia multiflora</i>
				<i>Toxicodendron striatum</i>
				<i>Durantha sprucei</i>
				<i>Dasyphyllum popayanense</i>

*Muestreo en 0.01 Ha., en especies ≥ 2.5 cm. de DAP.

Localidad	Altitud (msnm.)	Número de especies	Número de individuos	Especies frecuentes 1, 2, 3 y 4.
**Muestreo en 0.1 Ha., en especies \geq 2.5 cm. de DAP.				

Tabla 3. 2 – Número de especies vegetales y porcentaje de las 20 familias más frecuentes encontradas en la Reserva Geobotánica Pululahua. Tomado de Cerón (2004).

División	Número de especies	Porcentaje (%)
Orchidaceae	105	11.6
Asteraceae	70	7.7
Poaceae	45	5.0
Solanaceae	36	4.0
Bromeliaceae	32	3.5
Fabaceae	29	3.2
Piperaceae	29	3.2
Euphorbiaceae	25	2.8
Rubiaceae	24	2.7
Araceae	21	2.3
Rosaceae	17	1.9
Polypodiaceae	17	1.9
Melastomataceae	16	1.8
Scrophulariaceae	16	1.8
Aspleniaceae	15	1.7
Lamiaceae	15	1.7
Ericaceae	15	1.7
Thelypteridaceae	13	1.4
Dryopteridaceae	12	1.3
Cyperaceae	12	1.3
Resto de familias	332	36.7
Total	905	100

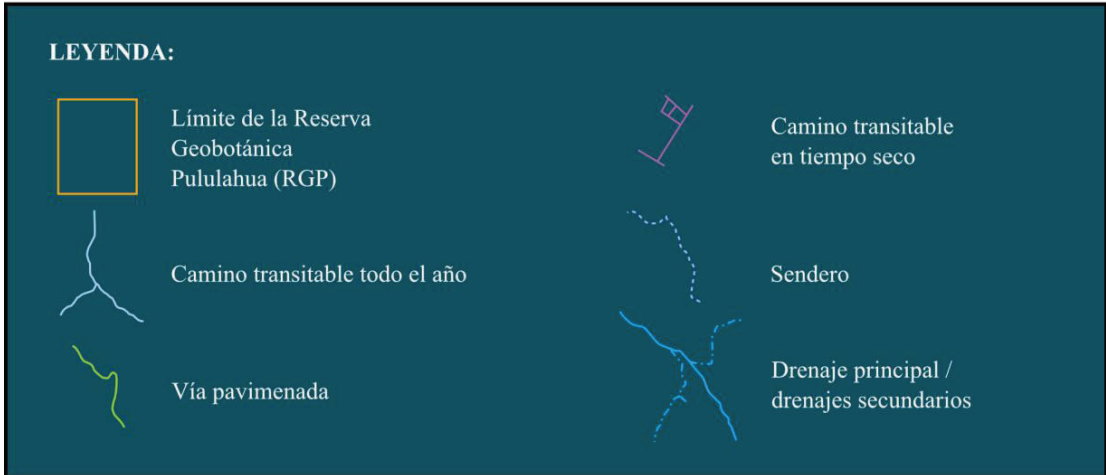
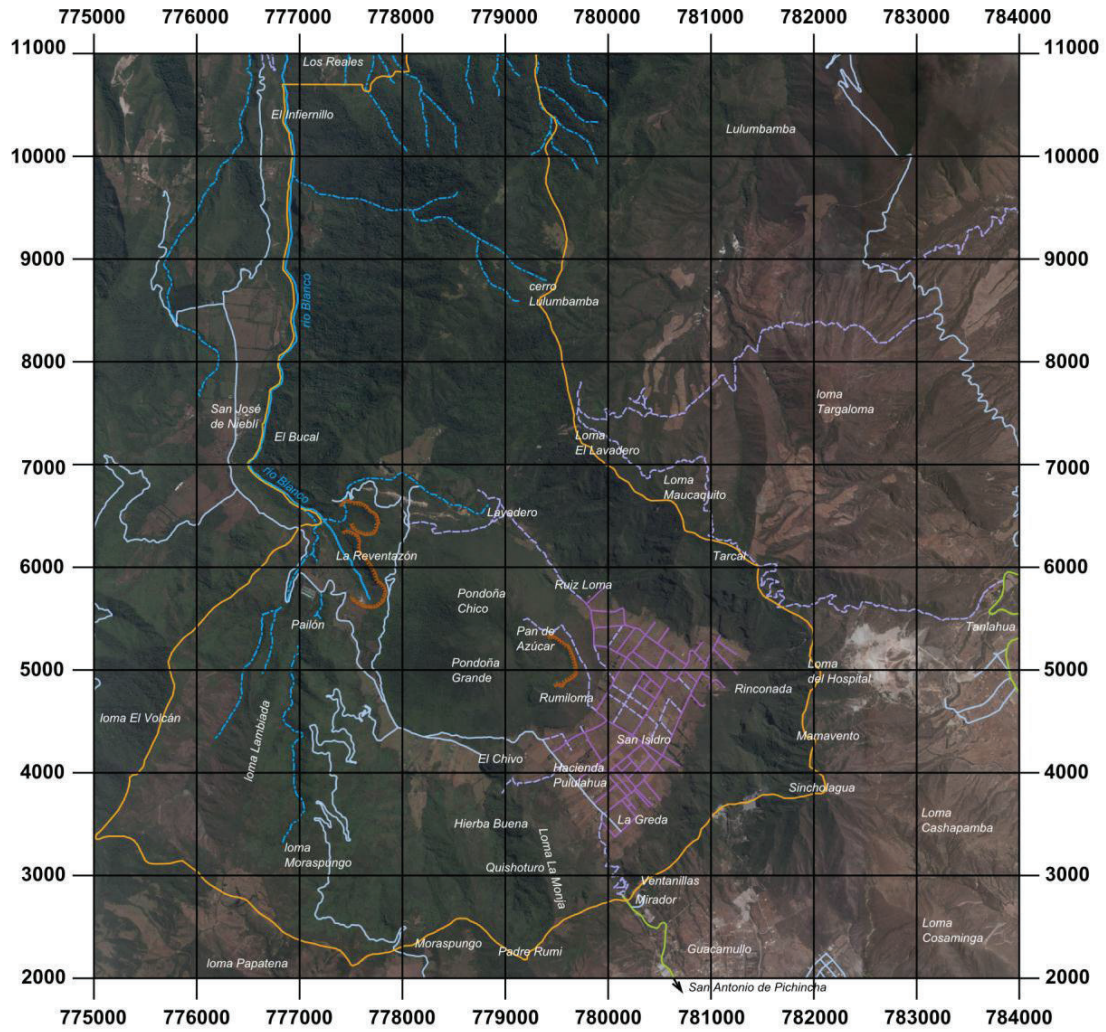


Figura 3. 7 – Mapa del área de estudio con las localidades descritas en cada formación vegetal dentro de este capítulo. Modificado de Google Earth (2014) e IGM (2008).

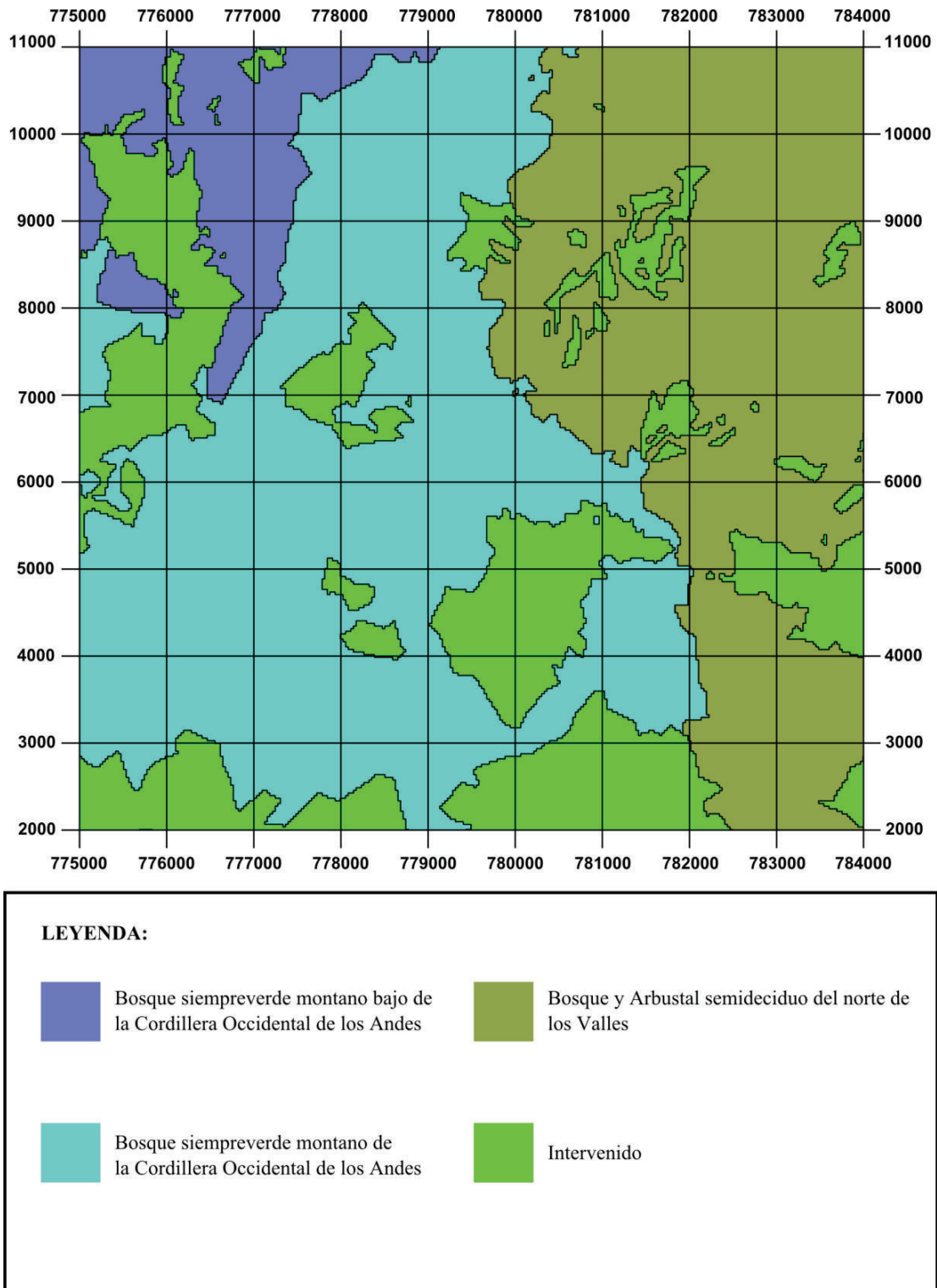


Figura 3. 8 – Mapa de ecosistemas en el CVP según el Ministerio del Ambiente (MAE, 2013).

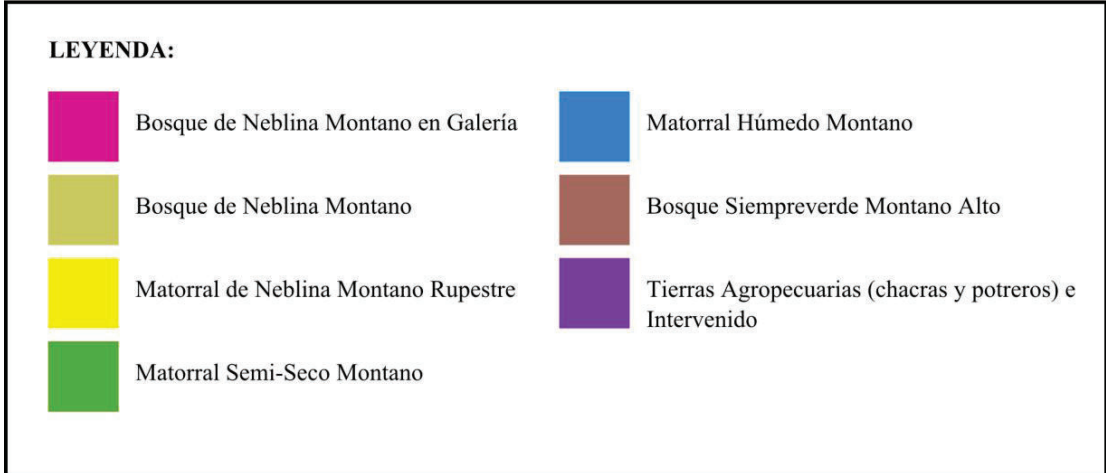
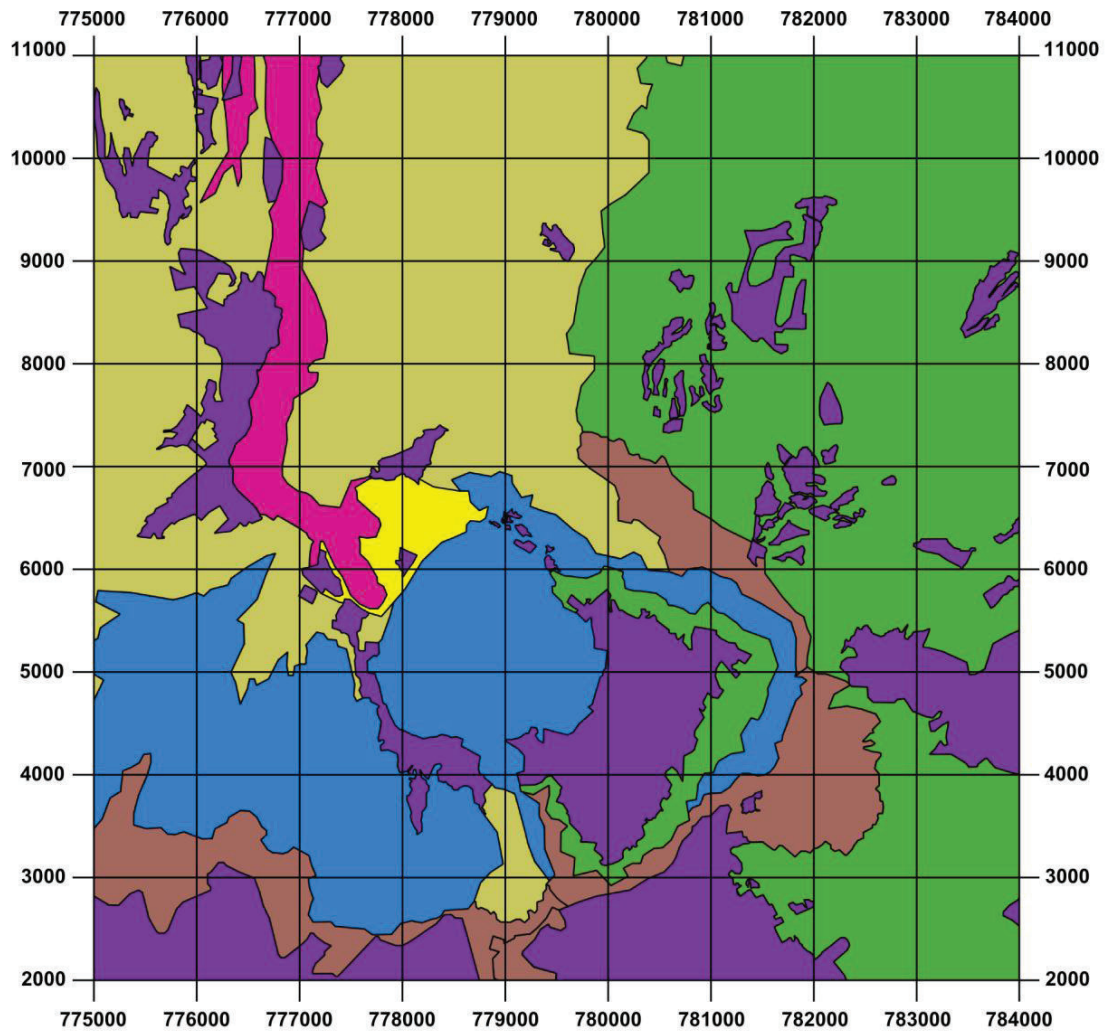


Figura 3. 9 – Mapa de las formaciones vegetales en el CVP interpretado a partir de las descripciones de Cerón (2004) y elaborado para el propósito de este estudio.

CAPÍTULO 4.

4.1 MARCO CONCEPTUAL, METODOLOGÍA Y VARIABLES DE ANÁLISIS.

El marco conceptual se fundamenta en las relaciones espaciales que existen entre las especies y el ambiente geológico donde se desarrollan. Estas relaciones están fuertemente determinadas en base a la ocurrencia de eventos geológicos según lo demuestran los registros fósiles. Para Cottle (2004) la geología tiene fuertes vínculos con la biodiversidad en la naturaleza del sustrato, usualmente determinada por el origen de la roca subyacente y es un factor determinante en la distribución de hábitats y especies. Estos vínculos han sido difíciles de probar incluso cuando es aparente que dichas asociaciones existen (Cottle, 2004) y cuyo problema radica en determinar cuál es esta asociación y a qué nivel (Touré & Ge, 2014).

Touré & Ge (2014) han encontrado que las variaciones en la diversidad de especies dependen de relaciones complejas, pero el factor geológico juega un rol importante y su inclusión en el análisis mejora en gran manera la predicción general de la diversidad florística. De acuerdo a su estudio las tendencias en diversidad, en un ambiente geológico particular, estuvieron principalmente relacionadas con el tipo de roca en asociación con el gradiente de la pendiente y la temperatura. Touré & Ge (2014) citan que han habido otros estudios que sugieren que los patrones espaciales de la vegetación están controlados por las propiedades del suelo y que los rasgos topográficos pueden explicar esta misma variación en una región climática particular. Ping (2000) destaca que la formación de suelos volcánicos depende principalmente del material parental, el clima, el tiempo de formación, la topografía y la vegetación. Cottle (2004) indica que la influencia de la geología en un medio ambiente puede ser separada en dos áreas: la influencia directa del tipo de roca por sí misma (relacionada con su estructura física y química) y el papel indirecto que influye en la formación del suelo y el desarrollo de las estructuras que determinan la distribución de plantas y animales en un rango de escalas.

Cerón (2004) menciona que en la Reserva Geobotánica es posible observar 'claramente los diferentes tipos de vegetación dispuestos principalmente en fajas horizontales' con lo cual destaca el aspecto altitudinal con respecto a la posición espacial de las formaciones vegetales y las describe entre rangos de altura.

Por lo anteriormente mencionado, para este estudio se consideró las siguientes variables de análisis que inciden en la ecología de las especies: altitud, pendiente, temperatura media, precipitación media (agrupadas como variables continuas) y suelos (orden) junto con las unidades geológicas (agrupadas como variables categóricas).

Sin embargo, la base del análisis espacial de la biodiversidad son los datos de observación (presencia). Estos datos de presencias georeferenciadas representan el estado actual de cada formación o ecosistema en relación con los factores ambientales presentes y se refiere al espacio que ocupa una especie en condiciones naturales (nicho realizado) (Scheldeman & van Zonneveld, 2011).

Existe la posibilidad del modelamiento de distribución de nichos ecológicos mediante el uso de Sistemas de Información Geográfica (SIG) con base en el conjunto de información medioambiental para los datos de presencia. Los programas de modelamiento de distribución de especies permiten aproximar un rango total de distribución y son herramientas útiles para identificar áreas en las cuales es probable la ocurrencia de alguna especie (Scheldeman & van Zonneveld, 2011). Estos programas identifican sitios con ambientes similares a aquellos en los cuales se han encontrado la presencia de una especie o más especies como áreas de posible incidencia.

Los datos requeridos para el análisis y la discriminación de las áreas de distribución potencial son: los puntos de presencia y los rásters de todas las variables en el área de estudio (Scheldeman & van Zonneveld, 2011). Se define un nicho con base en los valores ambientales que corresponden a los puntos de presencia utilizados en el análisis. Luego, para cada celda ráster, se calculan las similitudes entre los valores ambientales en una celda específica y los valores del

nicho de la especie modelada. Con esta información, el modelo calcula la probabilidad de la presencia de una especie en cada celda del ráster.

Para la correlación se usó el programa MaxEnt. Este software libre es un programa de modelación de distribución de especies que se utiliza para predecir la distribución probabilística de una o más especies utilizando un algoritmo iterativo para estimar la distribución de probabilidad de máxima entropía sujeto a las variables geológicas, climáticas, pedológicas, etc., en general, las condiciones ambientales. Estas condiciones conforman las capas predictoras resultado de interpolaciones de los datos. MaxEnt calcula el nicho realizado de la especie y la probabilidad de ocurrencia usando un algoritmo de máxima entropía. Este es un método que se basa en el principio de que la distribución estimada de una especie, ecosistema o formación vegetal debe coincidir con la distribución observada, evitando hacer alguna suposición que no esté respaldada por los datos. El algoritmo iterativo escoge la distribución de probabilidad más cercana a la distribución uniforme (la de máxima entropía) condicionada por las restricciones de la información disponible sobre la distribución observada y las condiciones ambientales presentes en el área de estudio (Philips et al., 2006).

En este estudio, se consideraron únicamente puntos de presencia y se asume la inexistencia de datos de ausencia de las respectivas formaciones vegetales.

4.1.2 METODOLOGÍA

La información geológica, pedológica y ambiental asociada a la presencia de formaciones vegetales o ecosistemas específicos se organiza usualmente en un ráster. Un ráster está formado por un conjunto de 'celdas' de igual tamaño con un valor dependiente de la variable (Scheldeman & van Zonneveld, 2011).

Para el muestreo sistemático de la información (localidades o puntos de presencia) se utilizó una malla regular delimitada por un cuadrado de 9 km de lado (que corresponde al área de estudio descrita en el Capítulo 1 con los vértices

definidos en la Tabla 1.1). Este cuadrado, o mejor llamado la ‘extensión’ (Scheldeman & van Zonneveld, 2011), se subdivide a su vez en 81 cuadrados iguales de 1 km² cada uno. Cada uno de estos 81 cuadrados contiene 16 puntos de muestreo distanciados 250 metros uno del otro (ver Figura 4.2). La extensión del área de estudio está considerada de acuerdo a la inclusión total de la Reserva Geobotánica Pululahua (RGP) y gran parte del Complejo Vulcanológico Pululahua (CVP) (ver Fig. 1.1 y Fig. 2.3) y la resolución (tamaño de las celdas) está basada en las cartas topográficas disponibles.

Cada uno de estos puntos de muestreo regular fue numerado de Este a Oeste y de Norte a Sur (de izquierda a derecha y de arriba hacia abajo). En total, son 1296 puntos considerados dentro de esta malla regular. Cada uno de los 1296 puntos determina un pixel de 250 m de lado en las imágenes ráster correspondientes. Es decir, cada imagen ráster elaborada en este estudio tiene una resolución de 36 x 36 pixeles. Las imágenes ráster están presentadas en escala de grises y constituyen los archivos cartográficos para el uso en MaxEnt. MaxEnt utiliza archivos ráster del tipo ASCII para las variables consideradas y del tipo CSV (*.csv, del inglés comma-separated values) para la lista de datos de puntos de presencia (ver Fig. 4.1).

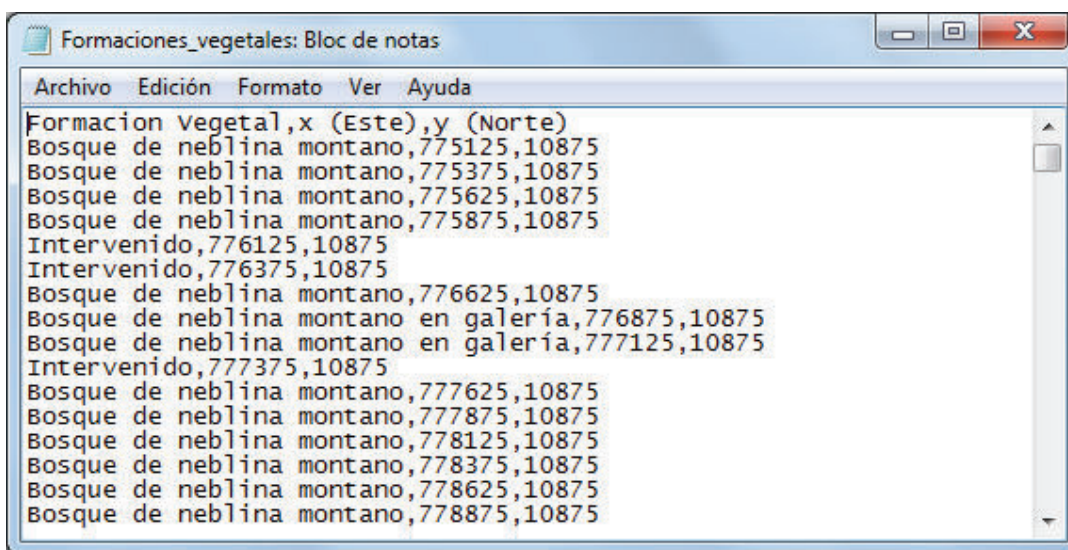


Figura 4. 1 – Ejemplo de las diferentes formaciones vegetales y sus respectivas coordenadas ordenadas en un archivo CSV.

La construcción de las imágenes ráster fue realizada utilizando el software libre QuantumGIS (QGIS 2.4.0) a través de las herramientas de análisis espacial 'Point Sampling Tool' e 'Interpolation' para la extracción de los valores de las variables consideradas y la interpolación de éstos mediante el método de 'ponderación inversa a la distancia', respectivamente. Toda la información fue previamente convertida al sistema de coordenadas WGS84 / UTM 17N.

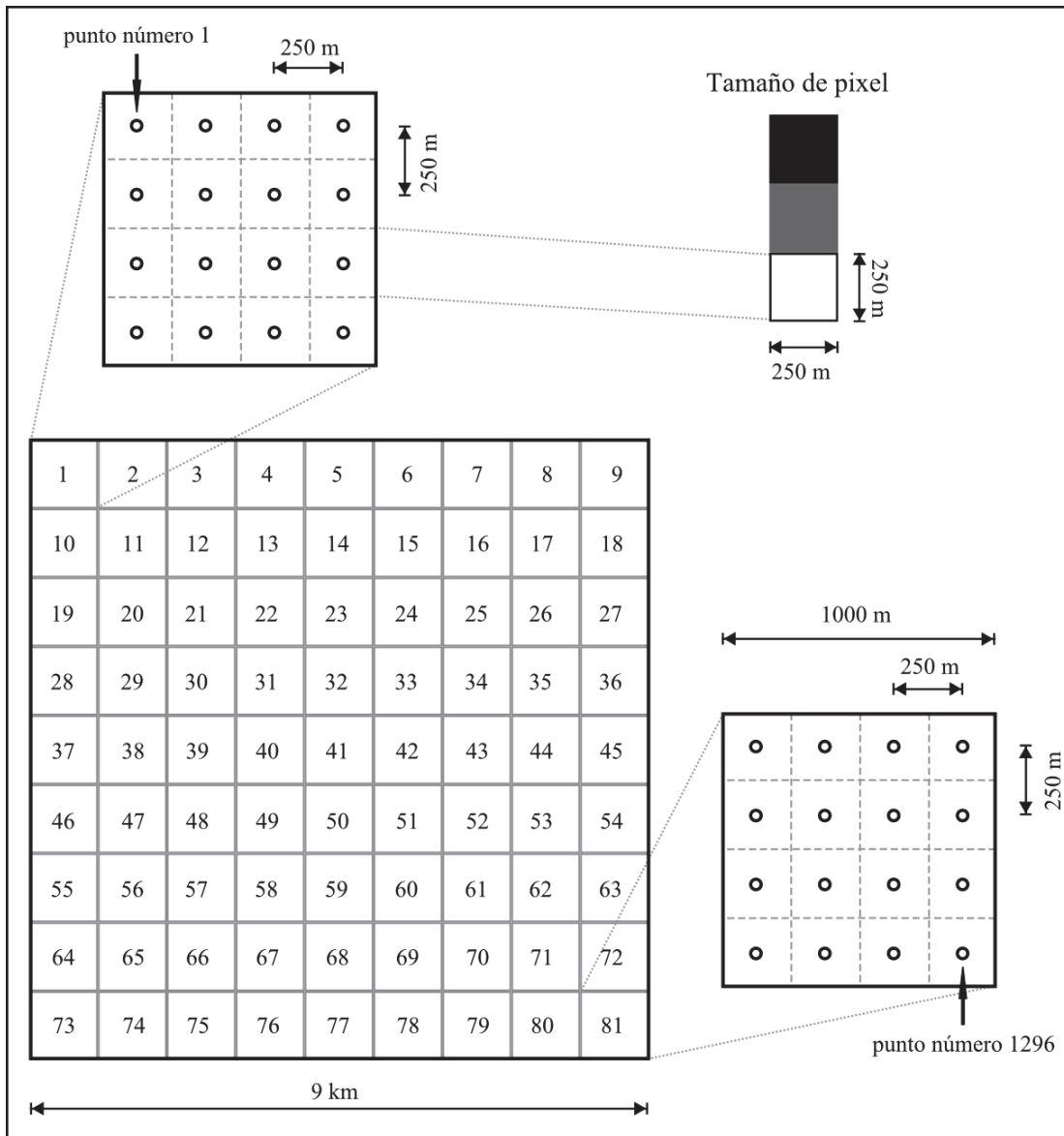


Figura 4. 2 – Esquema ilustrativo de la red regular de puntos usada en este estudio.

4.1.3 VARIABLES DE ANÁLISIS

Como se mencionó anteriormente, se consideraron las siguientes variables de análisis agrupadas en: variables continuas y variables categóricas.

4.1.3.1 Variables Continuas

Este tipo de variable se refiere a aquellas que son posibles de expresar por números reales. Una variable continua toma valores a lo largo de un continuo, esto es, en todo un intervalo de valores, por lo que también se las denomina cuantitativa.

Altitud: Esta variable fue determinada mediante un DEM (Digital Elevation Model / Modelo de Elevación Digital) para el Ecuador continental y comprobada con los mapas topográficos, escala 1:25.000, correspondientes a las hojas Calacalí (1979), Puéllaro (2008), Chavezpamba (2008) y Los Reales/Chespí (2008). El DEM utilizado, a partir del cual se obtuvieron los valores, tiene una resolución de 30 m.

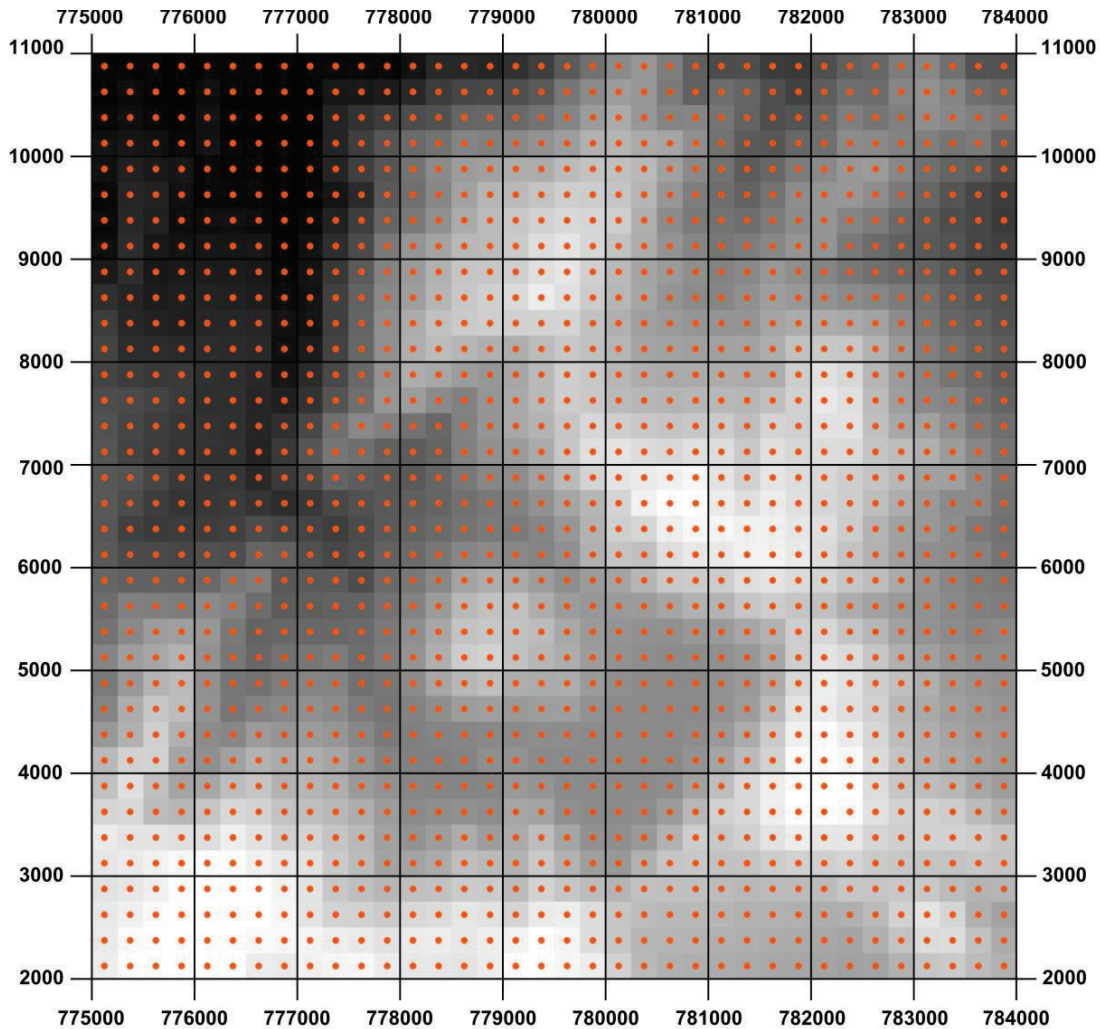


Figura 4. 3 – Imagen ráster de la variable *Altitud*. Los colores claros representan los valores más altos de altitud y los colores oscuros los más bajos.

Pendiente: Determinada mediante el mismo DEM usado para la altitud y obtenida a través del complemento de análisis de terreno llamado 'cálculo de la pendiente' en QGIS.

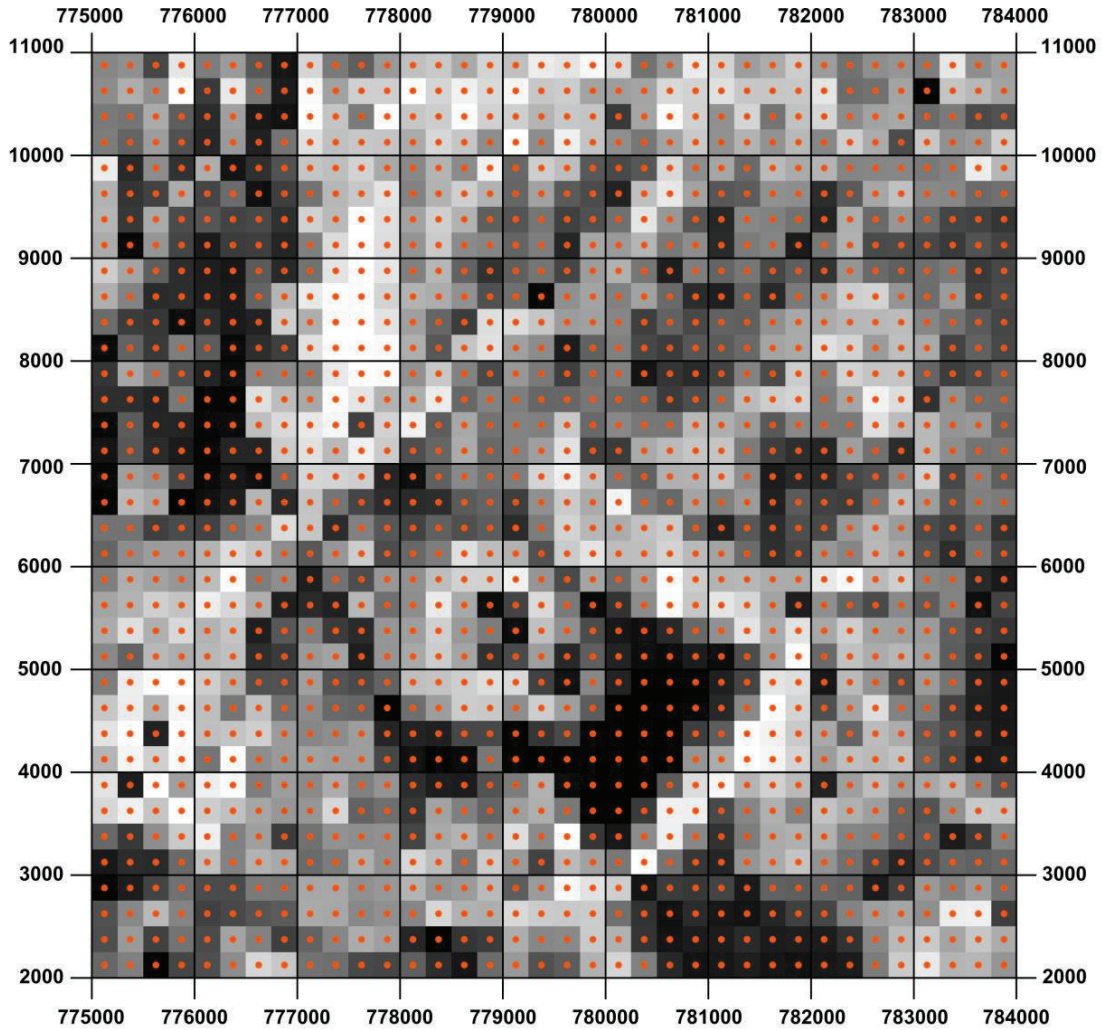


Figura 4. 4 – Imagen ráster de la variable *Pendiente*. Los colores claros representan las mayores pendientes y los colores oscuros las menores.

Temperatura media: Esta variable fue obtenida mediante el promedio anual de los valores de cada pixel de 12 imágenes ráster con promedios mensuales para condiciones actuales. Estas imágenes fueron posibles descargarlas de la página de WorldClim. Este sitio proporciona capas climáticas globales con una resolución de ~ 1 km y su valor está expresado en °C*10.

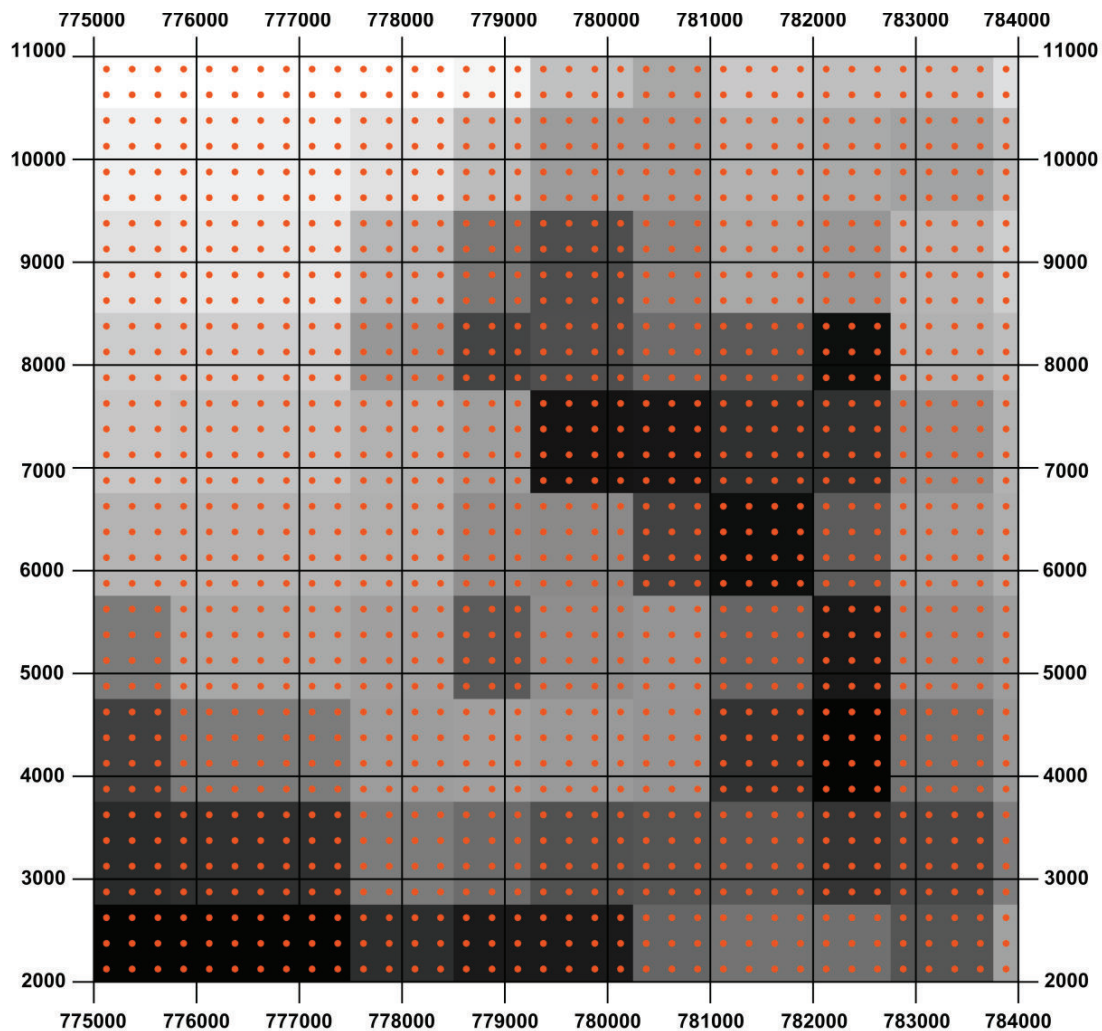


Figura 4.5 – Imagen ráster de la variable *Temperatura media*. Los colores claros representan los valores más altos y los colores oscuros los más bajos.

Precipitación: Al igual que la variable temperatura, la precipitación fue obtenida mediante el promedio anual de los valores de cada pixel de 12 imágenes ráster de WorldClim. Como se ha dicho anteriormente, la neblina que cubre gran parte de la Reserva por las tardes aparenta tener gran influencia. Por lo tanto, a través de esta variable se esperó reflejar este fenómeno.

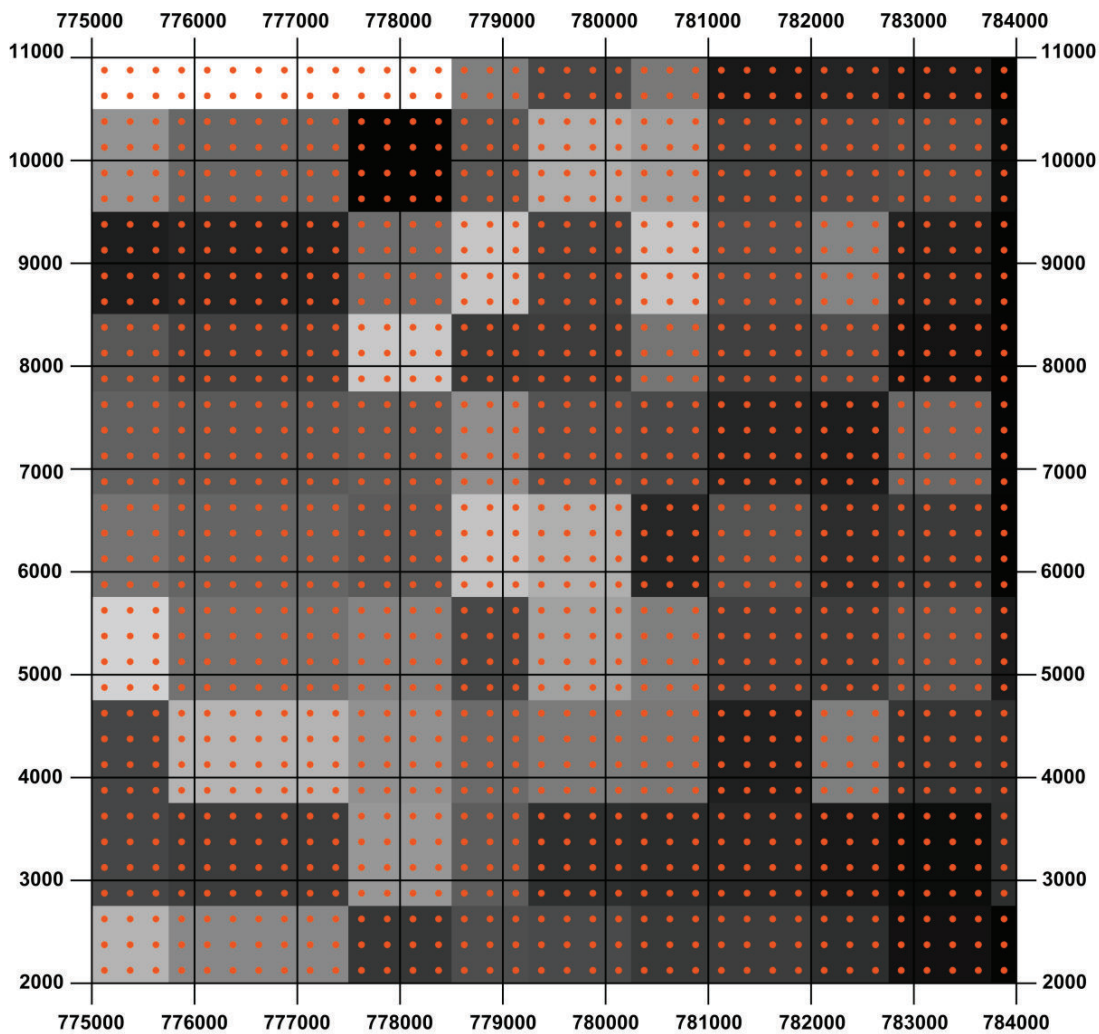


Figura 4.6 – Imagen ráster de la variable Precipitación. Los colores claros representan los valores más altos y los colores oscuros los más bajos.

4.1.3.2 Variables Categóricas

Este tipo de variable se refiere a aquellas que son posibles de expresar mediante una característica que la ubica dentro de una categoría, por lo que también se la denomina variable cualitativa.

Tipos de suelo (orden): esta variable se la obtuvo a partir del 'Mapa de suelos/ variable taxonomía – Provincia de Pichincha', Escala 1:750.000, del MAGAP (2012).

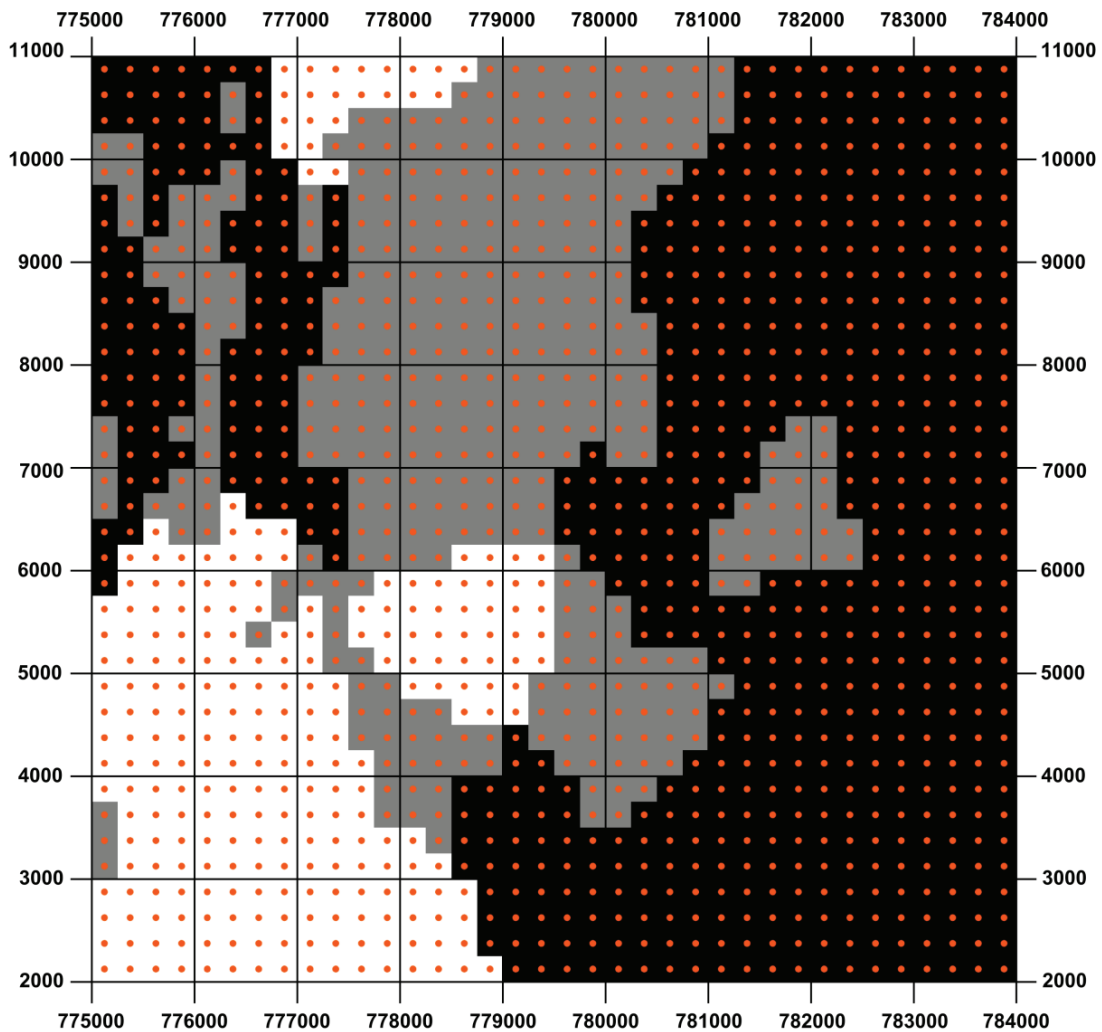


Figura 4. 7 – Imagen ráster de la variable Tipos de suelo (orden). En negro ENTISOL, en gris INCEPTISOL y en blanco ENTISOL + INCEPTISOL (véase también la Fig. 2.4).

Unidad Geológica: basado en el Estudio Geovolcanológico de Andrade (2002) y su Mapa Geológico Complejo Volcánico Pululahua, escala 1:50.000.

Cabe recalcar que para la elaboración de la imagen ráster de las Unidades Geológicas (variable *Geología*) se tomo en consideración el tipo de depósito y a las unidades geológicas, y se las agrupó como se describe a continuación (ver Fig. 4.8):

- 1.- Aluviales y coluviales recientes.
- 2.- Depósitos ricos en pómez, correspondientes a la Unidad Depósitos syn-caldera.
- 3.- Domos de lava dacítica, que agrupa todos los domos del Pululahua (sin importar si son pre o post-caldera).
- 4.- Brechas de dacitas (todos los depósitos de flujos piroclásticos de tipo 'block and ash flow', sin importar si son pre o post caldera).
- 5.- Brechas de andesitas (brechas correspondientes al substrato volcánico del Pululahua y que forman la Serie Volcánica pre-Pululahua.
- 6.- Basamento cretácico – paleógeno, que incluye a todas las rocas correspondientes al basamento de la cordillera occidental.

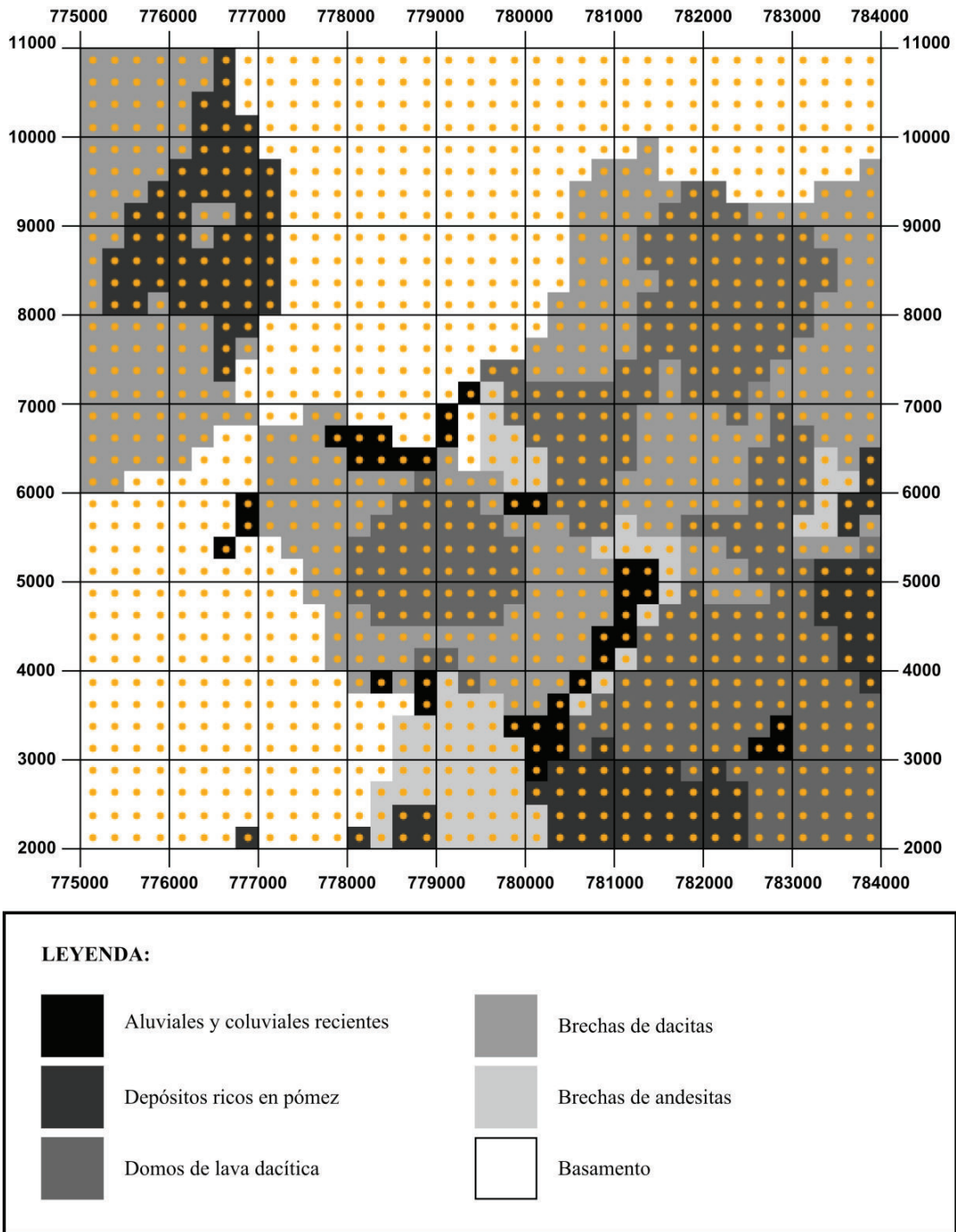


Figura 4. 8 – Imagen ráster de la variable *Unidad geológica* (basado en el mapa geológico de Andrade, 2002).

Formaciones vegetales: esta variable se la obtuvo mediante la elaboración de un mapa de Formaciones Vegetales para el propósito de este estudio (ver Fig. 3.9).

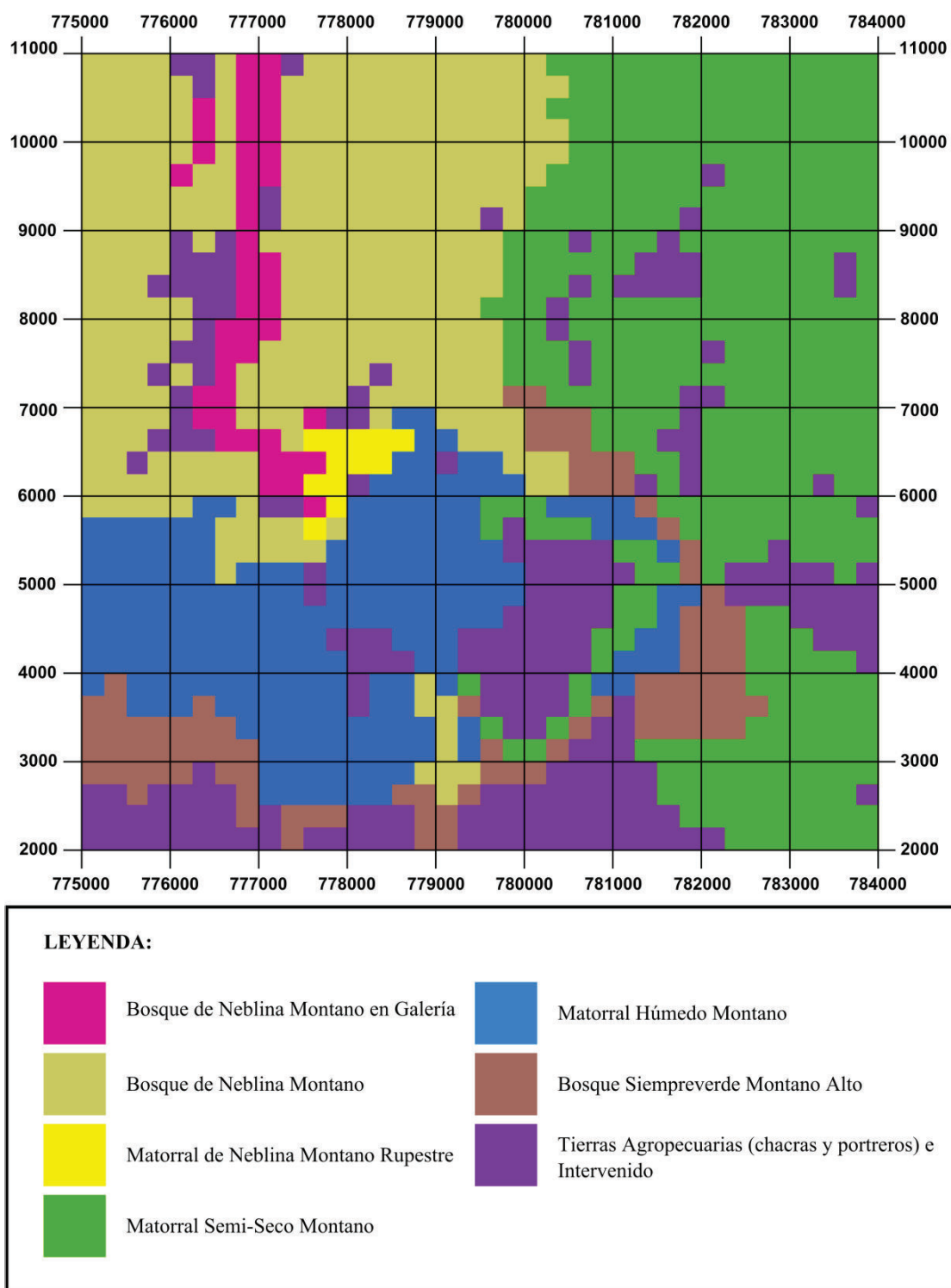


Figura 4. 9 – Imagen ráster de las *Formaciones vegetales* basado en Cerón (2004).

Ecosistema: esta imagen ráster se la obtuvo a partir del 'Mapa de Ecosistemas para el Ecuador Continental' del MAE (2013) (ver también Fig. 3.8).

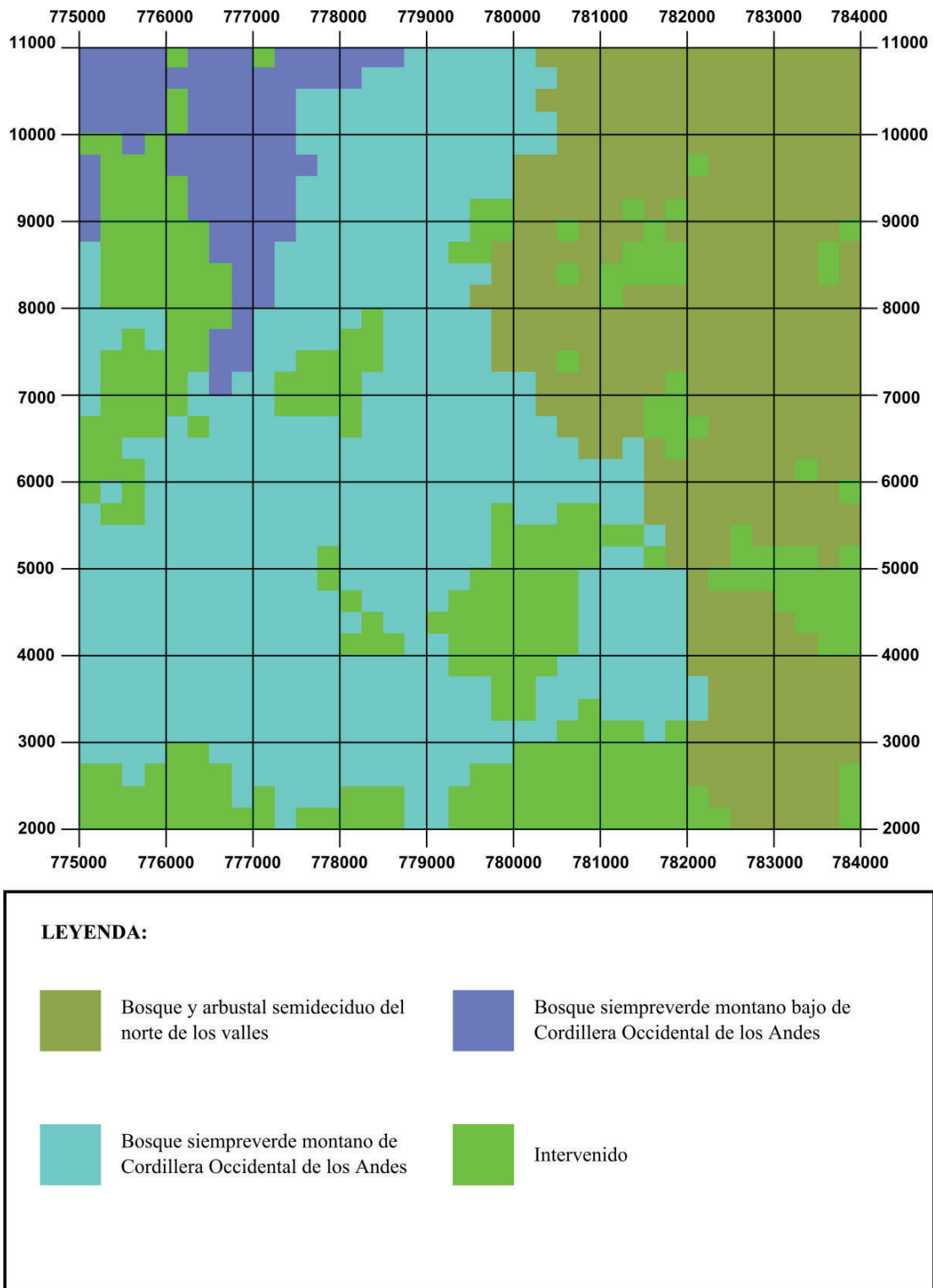


Figura 4. 10 – Imagen ráster de *Ecosistemas* basado en el Mapa de Ecosistemas (MAE).

CAPÍTULO 5.

5.1 CORRELACIÓN DE LA GEOLOGÍA Y EL ECOSISTEMA DEL VOLCÁN PULULAHUA.

El programa MaxEnt realiza la correlación entre las variables geológico-ambientales y las formaciones vegetales a través de la predicción de la ocurrencia del ecosistema o formación vegetal en base a un porcentaje de contribución predictiva para cada variable. A mayor contribución es mayor el impacto que la variable particular tiene en la predicción de la ocurrencia de la formación vegetal.

Como se tiene una imagen ráster para los ecosistemas y otra para las formaciones vegetales (ver Fig. 4.9 y 4.10), se realizó una corrida diferente e independiente para cada de una estas imágenes con el grupo correspondiente de capas ambientales.

Al importar las capas ambientales en formatoASCII (*.asc) MaxEnt genera unos rústers de distribución potencial junto con otros archivos. Uno de los archivos generados es un documento tipo HTML, en el cual se resumen todos los resultados (ver anexos), los mismos que están desglosados más adelante según la mayor relevancia de los resultados. MaxEnt permite utilizar los archivos ráster como variables continuas o categóricas (ver Fig. 5.1). Todas las capas ráster deben tener la misma resolución y coordenadas de las esquinas o vértices.

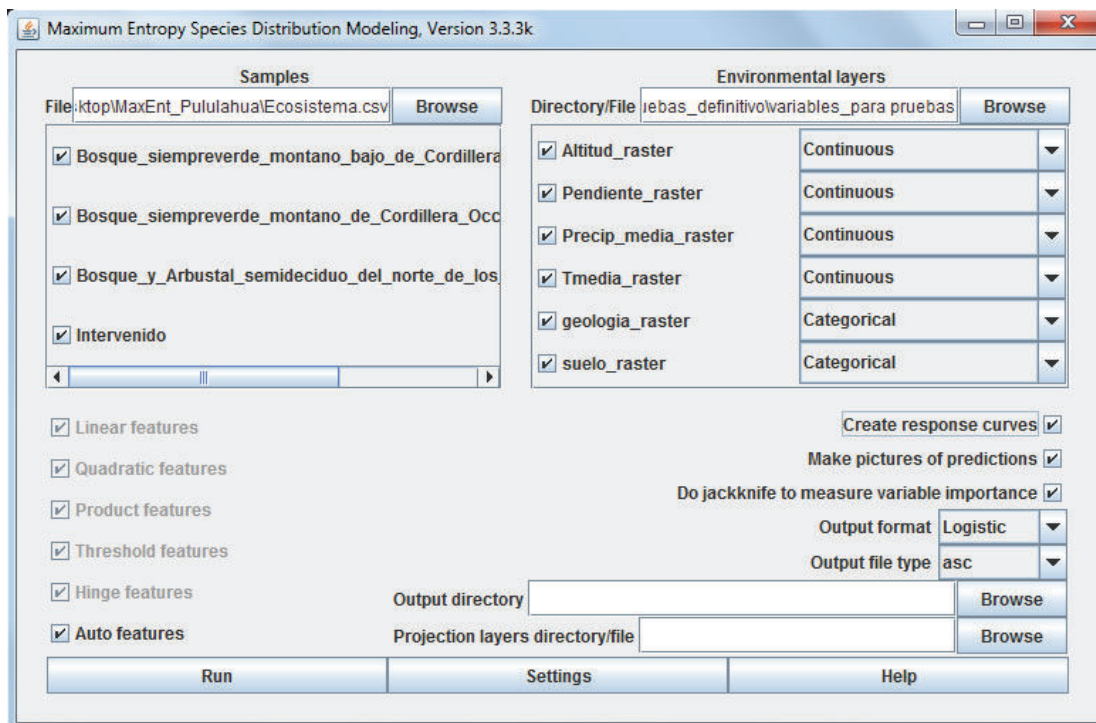


Figura 5. 1 – Ventana de ingreso de los datos de presencia (izquierda) y las variables geológicas, pedológicas y ambientales (derecha) en MaxEnt.

La ganancia que calcula MaxEnt durante el análisis está relacionada estrechamente con la desviación, una medida de la calidad de ajuste usada comúnmente en modelos generalizados aditivos y modelos generalizados lineales. Esta medida empieza en el valor 0 y aumenta asintóticamente durante el proceso que realiza MaxEnt. Cuanto mayor sea la ganancia, más discriminatoria será la distribución predicha de la incidencia de la especie. Durante este proceso, MaxEnt genera una distribución de probabilidad de los píxeles de la cuadrícula (extensión), comenzando desde la distribución uniforme mejorando reiteradamente el ajuste de los datos de muestreo. La ganancia se define como la probabilidad logarítmica promedio de las muestras de presencia (Scheldeman & van Zonneveld, 2011).

Finalmente, la ganancia indica que tan concentrado o ajustado está el modelo a las muestras de presencia. El resultado da una estimación entre 0 y 1 de la probabilidad de presencia (Scheldeman & van Zonneveld, 2011).

De forma adicional, se crea un modelo utilizando todas las variables, como en el caso 'normal' de ejecutar MaxEnt.

MaxEnt también devuelve una tabla que muestra las variables ambientales usadas en el modelo y su porcentaje de contribución predictiva para cada variable. En las tablas se puede observar que cuanto mayor contribución tiene la variable, mayor es el impacto que tiene en la predicción de la ocurrencia del ecosistema o formación vegetal.

Para el mapa de ecosistemas, los estimados de las contribuciones relativas de las variables usadas en este estudio son:

Tabla 5. 1 – Contribución de las variables para el ecosistema Bosque y Arbustal semideciduo del norte de los valles.

Variable	Percent contribution	Permutation importance
suelo_raster	52.2	51.1
Altitud_raster	19	12.8
geo_raster	16.2	12.8
Precip_media_raster	5.8	9
Pendiente_raster	4.5	2
Tmedia_raster	2.3	12.3

Tabla 5. 2 – Contribución de las variables para el ecosistema Bosque siempreverde montano bajo de Cordillera Occidental de los Andes.

Variable	Percent contribution	Permutation importance
Altitud_raster	96.3	98.4
suelo_raster	2	0.4
Pendiente_raster	1.1	0.5
Tmedia_raster	0.3	0.5
geo_raster	0.2	0
Precip_media_raster	0	0.1

Tabla 5. 3 – Contribución de las variables para el ecosistema Bosque siempreverde montano de Cordillera Occidental de los Andes.

Variable	Percent contribution	Permutation importance
suelo_raster	41.9	37.9
geo_raster	21.6	12.5
Altitud_raster	18.8	20.6
Pendiente_raster	7.1	6
Tmedia_raster	6.1	11.6
Precip_media_raster	4.4	11.5

Tabla 5. 4 – Contribución de las variables para el ecosistema Intervenido.

Variable	Percent contribution	Permutation importance
Pendiente_raster	58.7	33
geo_raster	16.9	28.1
Tmedia_raster	10.4	7.4
Altitud_raster	9.4	24
Precip_media_raster	4.2	5.4
suelo_raster	0.4	2.1

Para el mapa de Formaciones Vegetales, los estimados de las contribuciones relativas de las variables usadas en este estudio son:

Tabla 5. 5 – Contribución de las variables para la formación vegetal Bosque de neblina montano.

Variable	Percent contribution	Permutation importance
Tmedia_raster	38.4	43.1
geo_raster	22.8	21
suelo_raster	21.8	11.1
Precip_media_raster	7.5	15.1
Altitud_raster	5.8	8.4
Pendiente_raster	3.8	1.3

Tabla 5. 6 – Contribución de las variables para la formación vegetal Matorral semiseco montano.

Variable	Percent contribution	Permutation importance
suelo_raster	51.3	39.3
Altitud_raster	25.3	15.4
Precip_media_raster	8.1	13.8
Pendiente_raster	6.9	10.3
geo_raster	6.3	6.9
Tmedia_raster	2.1	14.4

Tabla 5. 7 – Contribución de las variables para la formación vegetal Matorral húmedo montano.

Variable	Percent contribution	Permutation importance
suelo_raster	51.7	40.4
Altitud_raster	36	34.1
Tmedia_raster	7.3	14.3
geo_raster	2.6	3.9
Precip_media_raster	1.4	4.7
Pendiente_raster	1.1	2.6

Tabla 5. 8 – Contribución de las variables para la formación vegetal Matorral de neblina montano rupestre.

Variable	Percent contribution	Permutation importance
geo_raster	49.1	56.5
suelo_raster	38	33.3
Altitud_raster	11.5	10.2
Tmedia_raster	1.3	0
Precip_media_raster	0.2	0
Pendiente_raster	0	0

Tabla 5. 9 – Contribución de las variables para la formación vegetal Bosque siempreverde montano alto.

Variable	Percent contribution	Permutation importance
Altitud_raster	60.1	92.5
Tmedia_raster	32.3	2.3
suelo_raster	2.5	0.5
Pendiente_raster	2.3	2.3
Precip_media_raster	1.6	0.7
geo_raster	1.2	1.6

Tabla 5. 10 – Contribución de las variables para la formación vegetal Bosque de neblina montano en galería.

Variable	Percent contribution	Permutation importance
Altitud_raster	82.4	92.7
Tmedia_raster	9.3	6.6
geo_raster	3.1	0
Precip_media_raster	3.1	0.3
suelo_raster	1.2	0.1
Pendiente_raster	0.9	0.3

Tabla 5. 11 – Contribución de las variables para la formación Intervenido.

Variable	Percent contribution	Permutation importance
Pendiente_raster	63.4	55.5
geo_raster	14.4	18.7
Tmedia_raster	10.8	12.5
Altitud_raster	7.6	9.2
Precip_media_raster	3.5	3.3
suelo_raster	0.4	0.9

Para obtener estimaciones alternativas de qué variables contribuyen más al modelo, se puede realizar un test de ‘jacknife’ seleccionando la opción: ‘Do jacknife to measure variable importance’ en MaxEnt (ver Figs 5.2-5.12). Cuando se corre el modelo, se crean múltiples modelos adicionales. En cada corrida del modelo se excluye una variable y se crea el modelo con las variables remanentes. Posteriormente, se crea un modelo con cada una de las variables por separado. Para el mapa de ecosistemas, los resultados del test ‘jacknife’ son los siguientes:

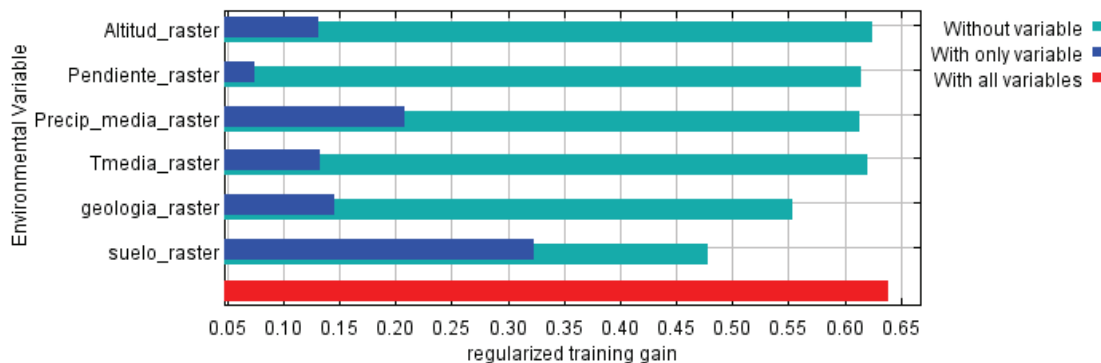


Figura 5. 2 – Test ‘jacknife’ de la importancia de cada variable para el ecosistema Bosque y Arbustal semideciduo del norte de los valles. Para este ecosistema, las variables suelo y precipitación media tienen mayor importancia.

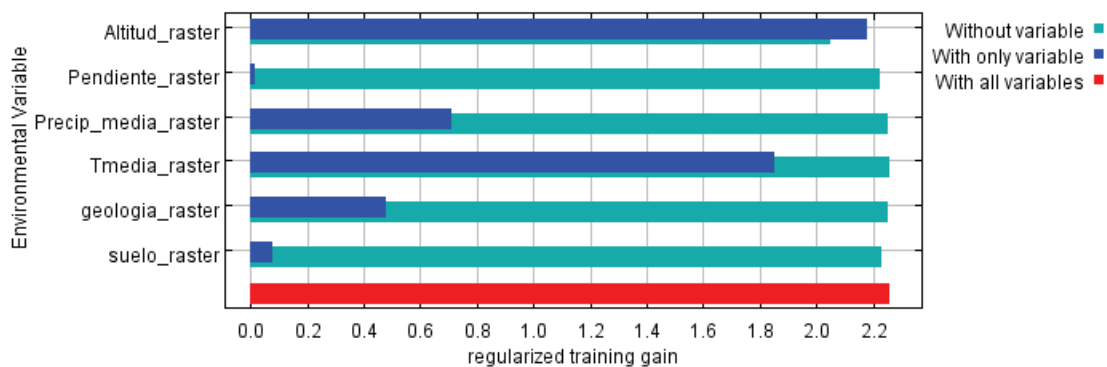


Figura 5. 3 – Test ‘jackknife’ de la importancia de cada variable para el ecosistema Bosque siempreverde montano bajo de Cordillera Occidental de los Andes. Para este ecosistema, las variables altitud y temperatura media tienen mayor importancia.

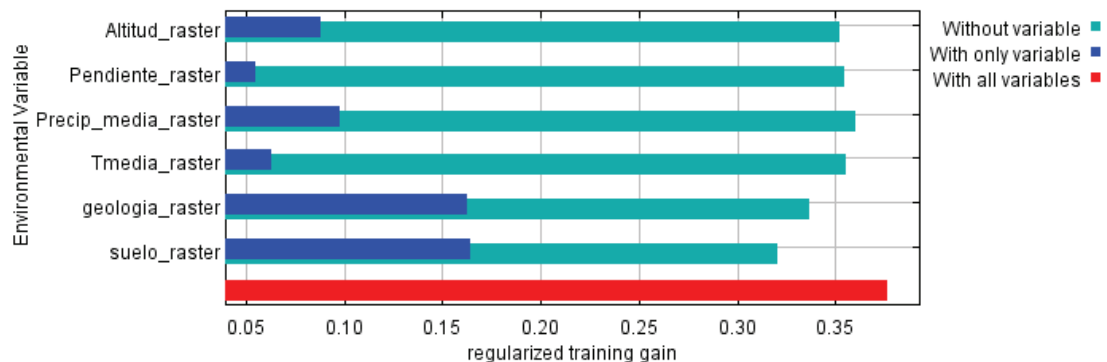


Figura 5. 4 – Test ‘jackknife’ de la importancia de cada variable para el ecosistema Bosque siempreverde montano de Cordillera Occidental de los Andes. Para este ecosistema, las variables geología y suelo tienen mayor importancia.

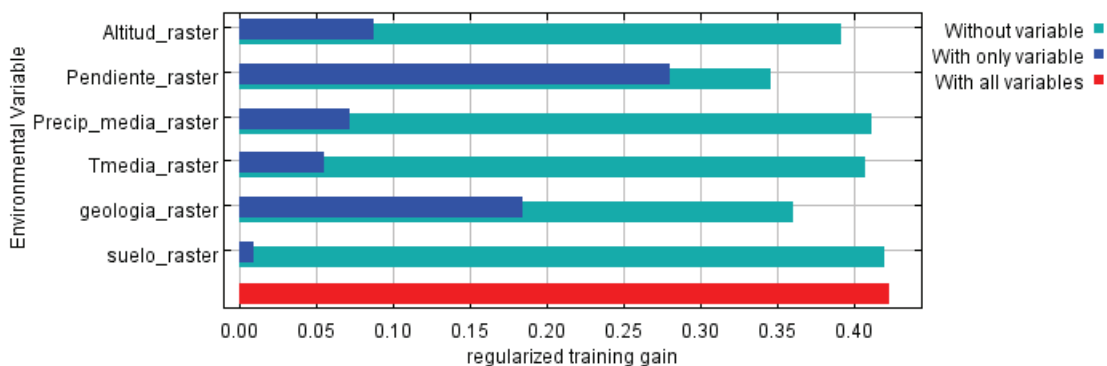


Figura 5. 5 – Test ‘jackknife’ de la importancia de cada variable para el ecosistema Intervenido. Para este ecosistema, las variables pendiente y geología tienen mayor importancia.

Para el mapa de Formaciones Vegetales, los resultados del test ‘jacknife’ son los siguientes:

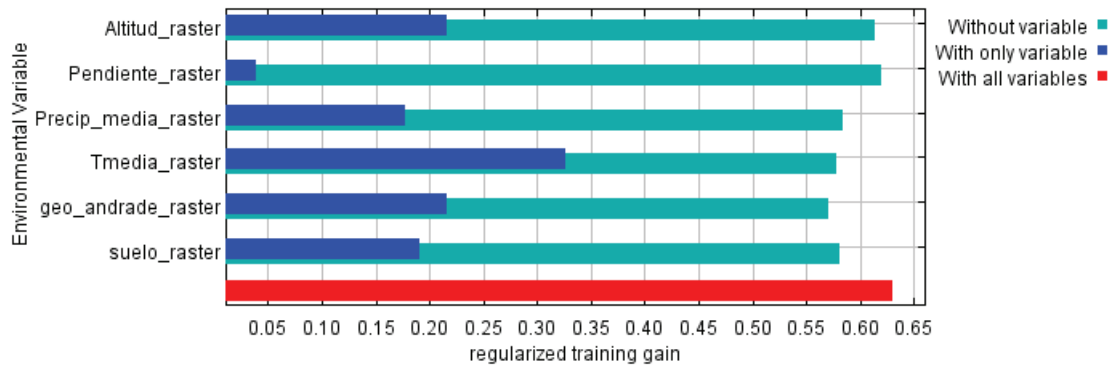


Figura 5. 6 – Test ‘jacknife’ de la importancia de cada variable para la formación vegetal Bosque de neblina montano. Para esta formación, las variables temperatura media, y altitud tienen mayor importancia.

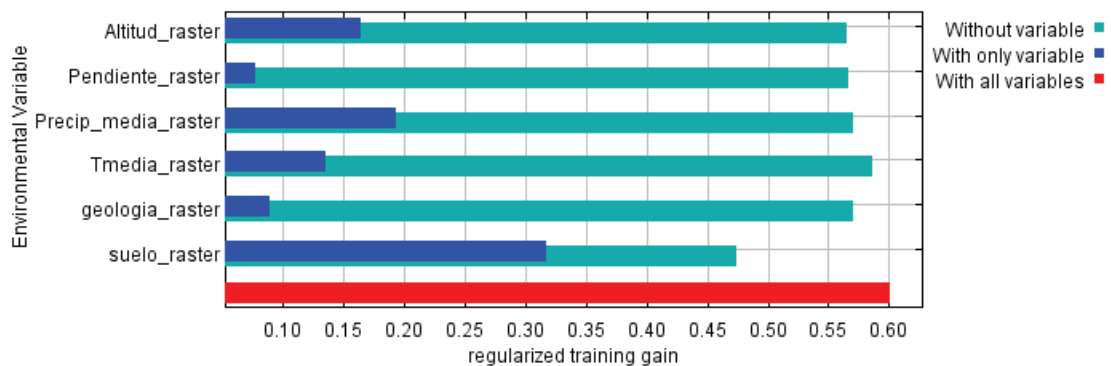


Figura 5. 7 – Test ‘jacknife’ de la importancia de cada variable para la formación vegetal Matorral semiseco montano. Para esta formación, la variable suelo tienen mayor importancia.

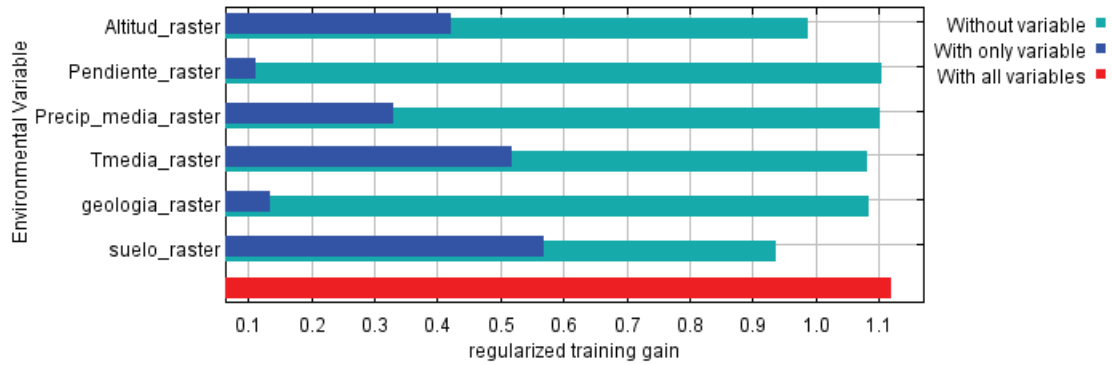


Figura 5. 8 – Test ‘jacknife’ de la importancia de cada variable para la formación vegetal Matorral húmedo montano. Para esta formación, las variables suelo y temperatura media tienen mayor importancia.

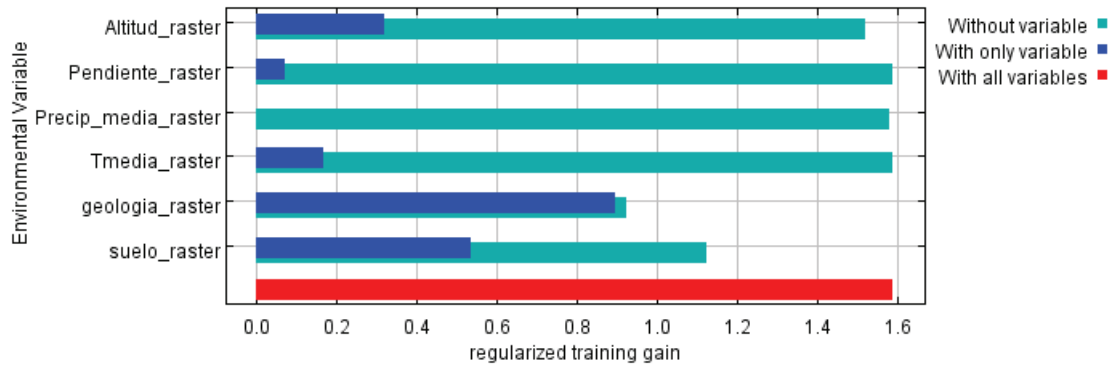


Figura 5. 9 – Test ‘jacknife’ de la importancia de cada variable para la formación vegetal Matorral de neblina montano rupestre. Para esta formación, las variables geología y suelo tienen mayor importancia.

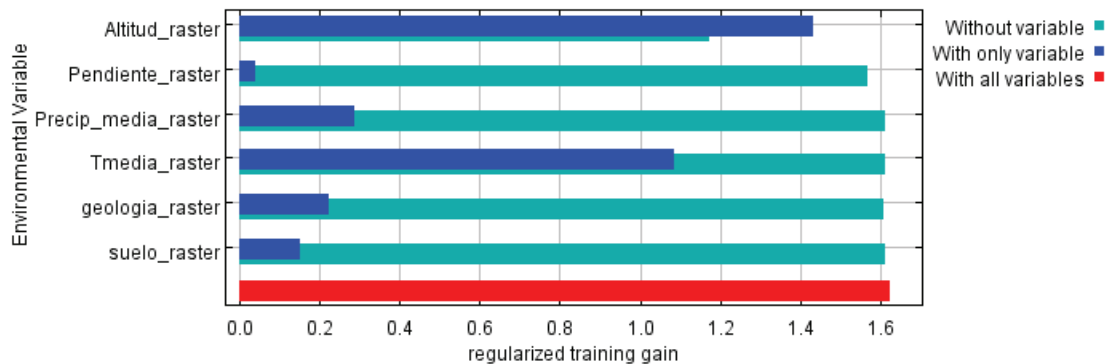


Figura 5. 10 – Test ‘jacknife’ de la importancia de cada variable para la formación vegetal Bosque siempreverde montano alto. Para esta formación, las variables altitud y temperatura media tienen mayor importancia.

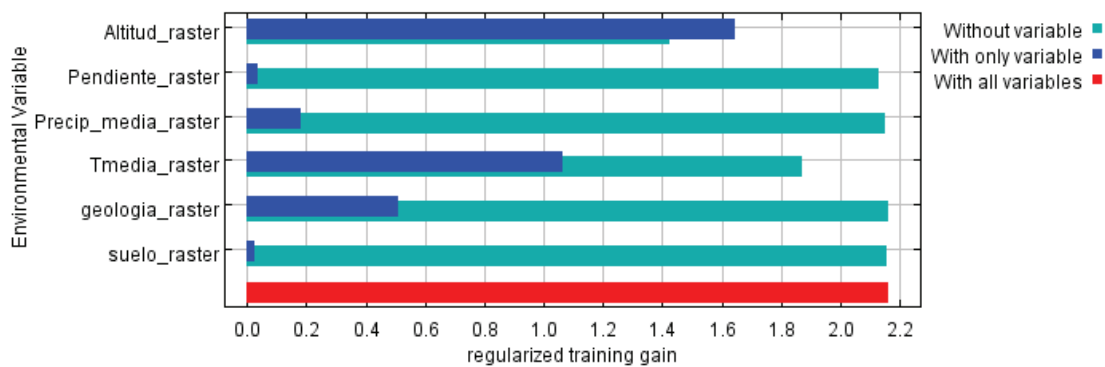


Figura 5. 11 – Test ‘jackknife’ de la importancia de cada variable para la formación vegetal Bosque de neblina montano en galería. Para esta formación, la variables altitud y temperatura media tiene mayor importancia.

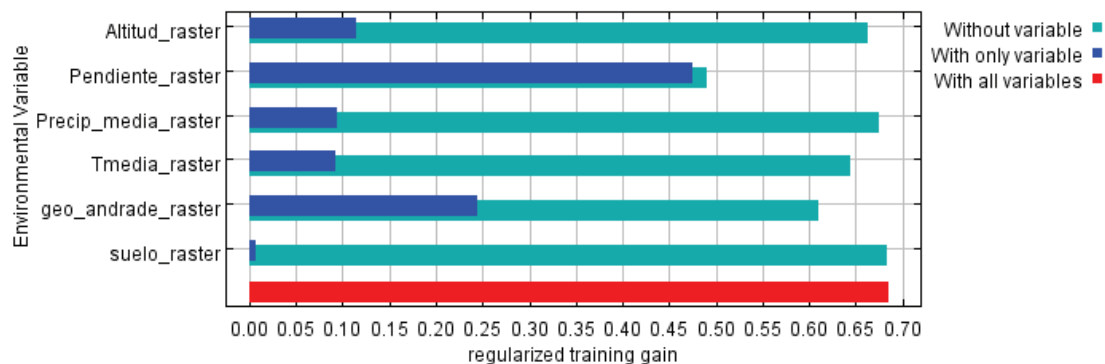


Figura 5. 12 – Test ‘jackknife’ de la importancia de cada variable para la formación vegetal Intervenido. Para esta formación, las variables pendiente y geología tienen mayor importancia.

CAPÍTULO 6.

6.1 ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS COMO APORTE AL ESTUDIO DE LA GEOLOGÍA ECOLÓGICA.

6.1.1 ANÁLISIS DE LA DISTRIBUCIÓN POTENCIAL PARA LOS ECOSISTEMAS

De los resultados obtenidos en el capítulo anterior, para los Ecosistemas dentro del área de estudio se tiene que:

- Bosque y arbustal semideciduo del norte de los valles.

Para este ecosistema, la variable Suelo muestra tener la mayor importancia con una contribución del 52.2 %, seguida de la variable Altitud con 19 % y Geología con 16.2 %. Resulta importante resaltar que este ecosistema se ubica mayormente sobre los domos de las Unidades Geológicas I, II y III junto con los depósitos asociados y sigue el borde morfológico de la caldera al E y NE de ésta.

- Bosque siempreverde montano bajo de Cordillera Occidental de los Andes.

Para este ecosistema la variable Altitud tiene por mucho la mayor contribución respecto a las demás variables, con 96.3 %. Este resultado está estrechamente relacionado con la ubicación de la formación que se encuentra en la parte más baja de toda el área de estudio.

- Bosque siempreverde montano de Cordillera Occidental de los Andes.

Para este ecosistema la variable Suelo tiene la mayor contribución con 41.9 %, le sigue la variable Geología con 21.6 % la y Altitud con 18.8%. Los órdenes de suelos para esta formación se delimitan hacia el N Inceptisol y hacia el SO Inceptisol + Entisol. Dentro de esta formación hay una variedad de unidades geológicas.

- Intervenido (actividad antrópica).

Se considera como este ecosistema a toda el área que abarca las zonas intervenidas por las actividades humanas. La Pendiente, con 58.7 % de contribución, es la variable que aporta en mayor cantidad a la explicación de la distribución de esta formación y es un resultado razonable considerando que los

terrenos principalmente planos son los que precisamente se ocupan para las actividades agrícolas. La Geología es la variable que sigue en importancia, con 16.9% de contribución, y está ligada a la variable Pendiente por la forma de las terrazas y planicies que dejaron antiguos flujos piroclásticos dacíticos. La Temperatura media (10.4 %) y la Altitud (9.4 %) son la tercera y cuarta variable respectivamente con mayor contribución. El Suelo no fue una variable decisiva para esta formación.

En resumen para los Ecosistemas, y sin tomar en cuenta las zonas intervenidas, las variables Suelo, Altitud y Geología son las que explican la distribución de las unidades en gran parte.

6.1.2 ANÁLISIS DE LA DISTRIBUCIÓN POTENCIAL PARA LAS FORMACIONES VEGETALES

Y para las Formaciones Vegetales, se tiene que:

- Bosque de neblina montano.

Para esta formación vegetal, la Temperatura media contribuye en mayor cantidad con la explicación del modelo con 38.4 %, le sigue la variable Geología con 22.8 % y la variable Suelo con 21.8 %. El orden sobre el cual se encuentra esta formación es Inceptisol. Esta formación se encuentra principalmente sobre el Basamento de CVP.

- Matorral semiseco montano.

Para esta formación, la variable Suelo muestra tener la mayor importancia con una contribución del 51.3 %, seguida de la variable Altitud con 25.3 %. Esta formación se correlaciona bastante bien con el ecosistema Bosque y arbustal semideciduo al tener las dos principales variables con resultados muy similares y ubicación espacial semejante.

- Matorral húmedo montano.

La mayor contribución para esta formación corresponde a la variable Suelo con 51.7 %. Le sigue la variable Altitud con un contribución de 36%. Las demás variables contribuyen en porcentajes menores del 10%. Dentro de esta formación se ubica por completo el cerro Pondoña. El MAGAP describe que tanto el cerro Pondoña como gran parte de esta formación hacia el sur-occidente está constituido por el orden de suelo Inceptisol + Entisol, el cual se ajusta a la ubicación de esta formación. En cuanto a la geología, esta formación abarca unidades heterogéneas.

- Matorral de neblina montano rupestre.

Para esta formación vegetal, la variable Geología contribuye en mayor cantidad a su modelo de distribución, con 49.1 %. Le sigue la variable Suelo con 38% y la variable Altitud con 11.5 %. Esta es la formación vegetal más pequeña y está ubicada entre los depósitos asociados a la Unidad III y los aluviales y coluviales recientes. El orden de suelo presente es principalmente Inceptisol hacia el oriente de esta formación vegetal.

- Bosque siempreverde montano alto.

En esta formación vegetal las 2 variables que contribuyen en gran medida son: la variable Altitud y Temperatura media, con 60.1 % y 32.3 % respectivamente. Las demás variables no tienen una contribución mayor al 10% cada una.

- Bosque de neblina montano en galería.

Para esta formación vegetal, la distribución se explica casi exclusivamente de la contribución de la variable Altitud. Ninguna de las demás variables presenta una contribución mayor al 10%. Esta formación se encuentra en el cañón del río

Blanco hacia la parte más baja de la Reserva. La predicción de resultado de MaxEnt nuevamente traza a esta formación muy definida espacialmente.

- Intervenido (actividad antrópica).

Los resultados para la formación vegetal Intervenido dicen que las tres variables con mayor contribución son: Pendiente con 63.4 %, Geología con 14.4 % y Temperatura media con 10.8 %. El resto de variables tienen un porcentaje de contribución menor al 10 %. Al igual que el Ecosistema Intervenido estos resultados son consistentes e indican la importancia de la baja pendiente de los depósitos para el asentamiento de las actividades antrópicas.

Como se mencionó anteriormente, MaxEnt genera unos rásters de distribución potencial en los cuales los valores de cada uno de los píxeles corresponden a la probabilidad de ocurrencia. Esos resultados se muestran cartográficamente y para poder realizar la comparación de las áreas que forman los píxeles, se escogió un valor de probabilidad mayor a 0.5 como el resultado válido con el objeto que las predicciones tengan una oportunidad igual de presentar un resultado tanto positivo como negativo.

Es importante mencionar que la comparación está hecha en base a las imágenes ráster de las Formaciones vegetales (Fig. 4.9) y los Ecosistemas (Fig. 4.10) obtenidas a partir de las capas vectoriales correspondientes (Figs. 3.8 y 3.9). En estas dos imágenes cada formación o ecosistema define un área que contiene un cierto número de píxeles y la sumatoria de píxeles distribuidos por cada formación o ecosistema, según sea el caso, da 1296 para cada mapa (ver Tablas 6.1 y 6.2). La predicción de MaxEnt (calculada con la probabilidad de ocurrencia > 0.5) asimismo define otras áreas con un valor de píxeles correspondientes, formación por formación, ecosistema por ecosistema. Sin embargo, las áreas definidas por las imágenes ráster obtenidas a partir de las capas vectoriales correspondientes

suelen ser mayores que las obtenidas a partir de la predicción de MaxEnt y no necesariamente coinciden espacialmente. Al sobreponer cada par de imágenes correspondientes a cada una de las formaciones y ecosistemas, se calculó un porcentaje de coincidencia presentado en las siguientes tablas y figuras:

Tabla 6. 1 – Resumen de los resultados calculados con el Mapa Formaciones Vegetales.

Formaciones vegetales	Mapa Referencial		Predicción de MaxEnt		Coincidencia (%)
	Área en pixeles	Área en Km²	Área en pixeles	Área en Km²	
Intervenido	214	13.375	141	8.8125	61.21
Bosque siempreverde montano alto	92	5.75	90	5.625	67.39
Bosque de neblina montano en galería	45	2.8125	40	2.5	66.67
Matorral húmedo montano	208	13	139	8.6875	65.86
Matorral semiseco montano	399	24.9375	331	20.6875	70.43
Matorral de neblina montano rupestre	12	0.75	53	3.3125	66.67
Bosque de neblina montano	326	20.375	259	16.1875	68.71
Total	1296	81			

Tabla 6. 2 – Resumen de los resultados calculados con el Mapa Ecosistemas.

Ecosistemas	Mapa Referencial		Predicción de MaxEnt		Coincidencia (%)
	Área en pixeles	Área en Km²	Área en pixeles	Área en Km²	
Intervenido	285	17.8125	254	15.875	61.05
Bosque y arbustal semideciduo	382	23.875	327	20.4375	71.20
Bosque siempreverde montano	540	33.75	417	26.0625	67.60
Bosque siempreverde montano bajo	89	5.5625	65	4.0625	70.79
Total	1296	81			


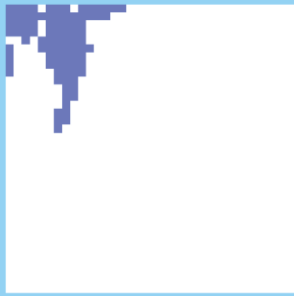
Mapa de Ecosistemas por unidades	Modelo predictivo MaxEnt (probabilidad > 0.5)	Coincidencia porcentual
<p data-bbox="407 369 505 390">Intervenido</p> 		61.05 %
<p data-bbox="407 705 854 726">Bosque y arbustal semidecíduo del norte de los valles</p> 		71.20 %
<p data-bbox="407 1052 984 1073">Bosque siempreverde montano de Cordillera Occidental de los Andes</p> 		67.60 %
<p data-bbox="407 1398 1032 1419">Bosque siempreverde montano bajo de Cordillera Occidental de los Andes</p> 		74.16 %

Figura 6. 1 – Comparación de los Ecosistemas con la predicción del programa MaxEnt.



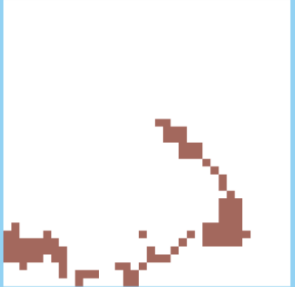
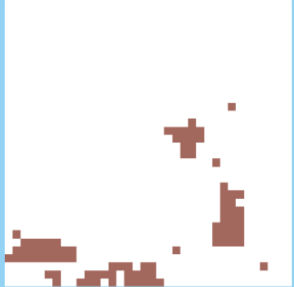
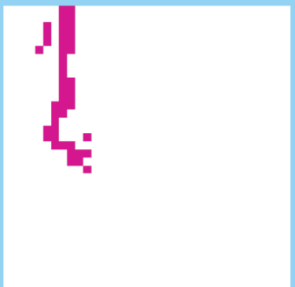



Mapa de Formaciones Vegetales por unidades	Modelo predictivo MaxEnt (probabilidad > 0.5)	Coincidencia porcentual
<p data-bbox="414 367 511 388">Intervenido</p> 		61.21 %
<p data-bbox="414 714 706 735">Bosque siempreverde montano alto</p> 		67.39%
<p data-bbox="414 1060 706 1081">Bosque de neblina montano en galería</p> 		66.67 %
<p data-bbox="414 1396 706 1417">Matorral húmedo montano</p> 		65.86 %

Figura 6. 2 – Comparación de las Formaciones Vegetales con la predicción del programa MaxEnt (continúa en la Fig. 6.3).

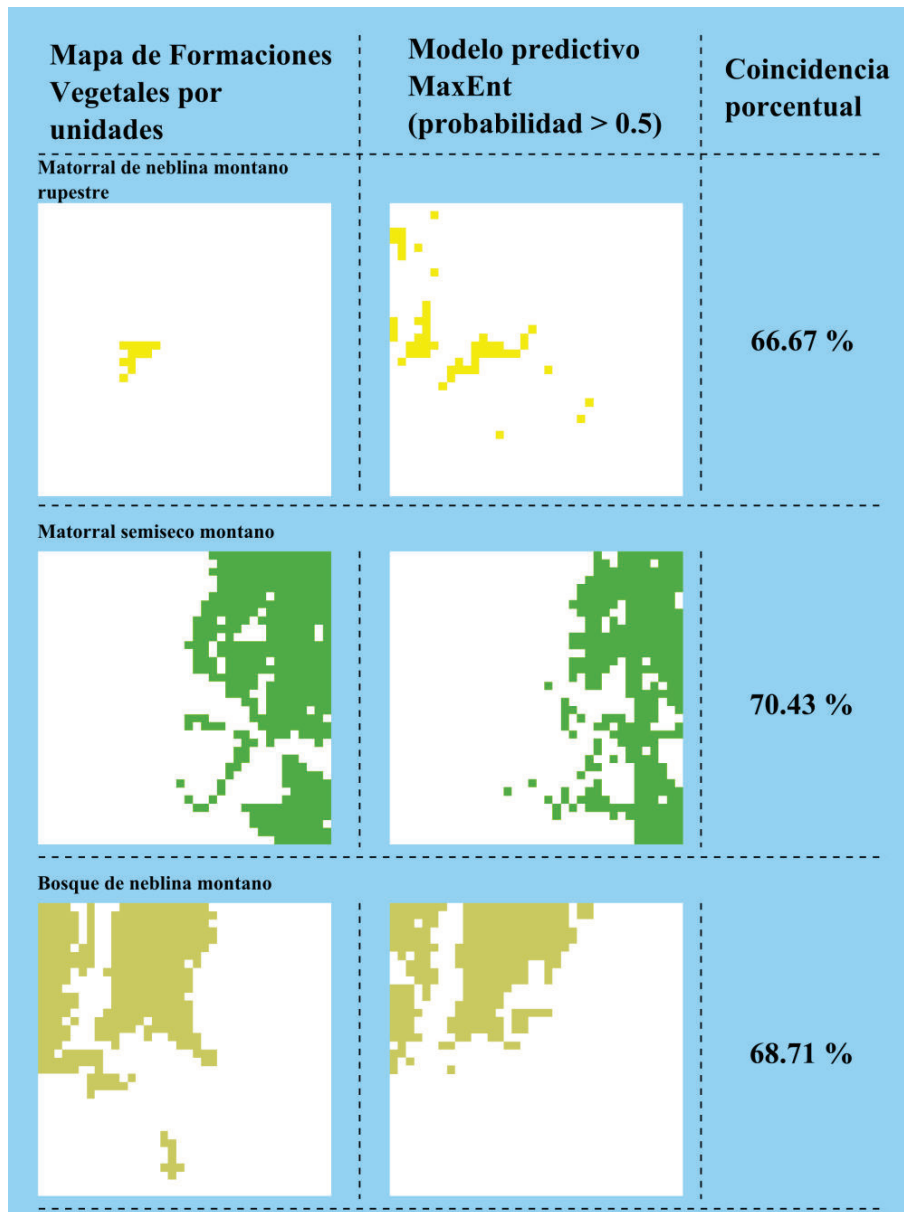


Figura 6. 3 – Comparación de las Formaciones Vegetales con la predicción del programa MaxEnt.

Los porcentajes obtenidos de la comparación de los resultados predictivos positivos demuestran que el modelo tiene una alta sensibilidad a favor de la generación de mayor cantidad de verdaderos positivos (puntos de coincidencia) en comparación con una bajo porcentaje de falsos negativos. La ventaja de MaxEnt es que permite identificar las variables que para el modelo tienen

efectivamente influencia. Estos resultados proporcionan confianza para poder predecir la distribución probabilística de la vegetación en otras áreas con información incompleta beneficiando la complementación de la información aunque cada sitio tendrá una dinámica particular.

CAPÍTULO 7.

7.1 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

7.1.1 Conclusiones

- Los resultados indican que las predicciones de MaxEnt tienen altas probabilidades de coincidencia con los puntos de presencia. Estas coincidencias porcentuales varían entre 61.05 y 74.16 % para los Ecosistemas y entre 61.21 y 70.43 % para las Formaciones Vegetales, en relación con la información cartografiada. Estos porcentajes demuestran que el modelo posee un buen desempeño respecto a la predicción espacial y que las variables consideradas tienen la relevancia esperada y reflejan alta sensibilidad en cuanto a los resultados. El ecosistema y la formación vegetal con mejor coincidencia porcentual son el Bosque siempreverde montano bajo de Cordillera Occidental de los Andes y el Matorral semiseco montano, respectivamente. Para éstos últimos, los puntos de presencia con aquellos predichos demuestran una sensibilidad superior a 70%.
- Las Formaciones Vegetales y Ecosistemas respondieron de diferente manera a cada una de las variables. La influencia de las variables se puede notar en los porcentajes de contribución. Dentro de los Ecosistemas, la variable geología aportó a la explicación de la distribución en el Bosque siempreverde montano de Cordillera Occidental de los Andes con 21.6 %, en el Bosque y arbustal semidecduo del norte de los valles con 16.2 % y en el ecosistema Intervenido con 16.9%. La variable Suelo contribuye en el Bosque y arbustal semidecduo con 52.2 % y en el Bosque siempreverde montano con 49.9 % y la Altitud en el Bosque y Arbustal semidecduo del norte de los valles contribuye con el 19 %, en el Bosque siempreverde montano de Cordillera Occidental de los Andes con el 18.8 % y en el Bosque siempreverde montano bajo de Cordillera Occidental de los Andes explica la distribución casi en su totalidad con 96.3 %.

- En cuanto a las Formaciones vegetales, la variable Geología contribuye en el Bosque de neblina montano con 22.8 %, en el Matorral de neblina montano rupestre con 49.1 % y en la formación Intervenido con 14.4. La variable Suelo contribuye en el Bosque de neblina montano con 21.8 %, en el Matorral semiseco montano con 51.3 %, en el Matorral húmedo montano con 51.7 % y en el Matorral de neblina montano rupestre con 38%. La Altitud contribuye en el Matorral semiseco montano con 25.3 %, en el Matorral húmedo montano con 36 %, en el Matorral de neblina montano rupestre con 11.5 %, en el Bosque siempreverde montano alto con 60.1 % y en el Bosque de neblina montano en galería con el 82.4 %. Para la formación y ecosistema Intervenido, los resultados son consistentes demostrando la importancia de la pendiente en ambos casos.
- Las formaciones geológicas, junto con las variables suelo y altitud son las variables que más importancia poseen dentro de los resultados de la modelización demostrando la trascendencia que tienen en el complejo, dando validez al calificativo de Reserva Geobotánica y mostrando la importancia de los factores geológicos como determinante en la generación de los ecosistemas endémicos.
- Las demás variables: pendiente, temperatura media y precipitación suelen tener una contribución a la distribución de las especies en un porcentaje menor o igual al 10%. Sin embargo, la pendiente es una variable muy importante en el ecosistema Intervenido (entre 58% y 63%). Asimismo, la temperatura media es importante en: Bosque de neblina montano con 38.4% y Bosque siempreverde montano alto con 32.3 %.
- El modelo predictivo que MaxEnt calcula corresponde con las formaciones vegetales y ecosistemas concernientes a la información mapeada, a excepción del Matorral de neblina montano rupestre. Esta formación vegetal es la más pequeña de todas las que se encuentran en el área de estudio y su predicción supone una distribución en un área mucho mayor, lo que indica que su delimitación es artificial o incluso podría pertenecer a una formación vegetal mucho más grande, como lo menciona Cerón.

7.1.2 Recomendaciones

- La variable Precipitación no reflejó algún resultado de peso en el cálculo del modelo predictivo y no muestra ser una capa muy confiable debido a que los pixeles aparentan no tener orden alguno debido a que se juntan valores máximos y mínimos. Se recomienda una mejor capa de valores de precipitación y quizás una capa adicional que refleje la humedad del ambiente.
- Los límites exactos de cada formación o ecosistema podrían variar y están en gran parte interpretados. La metodología que se usó para determinar cada uno de éstos considera muestreos que para el caso de este estudio, abarcan áreas menores al pixel utilizado en la modelación por lo que siempre se puede mejorar el detalle del trabajo.
- Por cuanto ha sido evidente la incidencia de las formaciones geológicas como un elemento importante en la determinación de los ecosistemas naturales, se recomienda la realización y profundización de estudios similares en los cuales se interrelacione los diferentes elementos bióticos y abióticos. Estos estudios posteriores permitirán aportar al entendimiento, conservación, administración y cuidado del patrimonio geobotánico.
- Se recomienda enfatizar en la perspectiva integradora de la Geología Ecológica y su importancia en la estructura de estudios multidisciplinarios futuros. También se recomienda el uso del software MaxEnt y la inclusión de variables geológicas en el estudio de otras reservas naturales.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Andrade, D. (2002). Estudio Geovolcanológico del Complejo Volcánico Pululahua, Tesis de Ingeniero Geólogo, Escuela Politécnica Nacional, Quito-Ecuador, 180.

Cerón, C. (2004). Reserva Geobotánica del Pululahua, Formaciones Vegetales, Diversidad, Endemismo y Vegetación. Revista Cinchonia Vol. 5, #1, Escuela de Biología de la Universidad Central del Ecuador. Editorial Universitaria, Quito-Ecuador, 1-108.

Cottle, R. (2004). Linking geology and biodiversity. English Nature Research Reports, No. 562.

ECOLAP y MAE. (2007). Guía del Patrimonio de Áreas Naturales Protegidas del Ecuador. ECOFUND, FAN, DarwinNet, IGM. Quito, Ecuador.

Hall, M. & Beate, B. (1991). El Volcanismo Plio-Cuaternario en los Andes del Ecuador. El Paisaje Volcánico de la Sierra Ecuatoriana, Corporación Editora Nacional, Quito, 5-18.

Hall, M., Samaniego, P., Le Pennec, J., & Johnson, J. (2008). Ecuadorian Andes volcanism: A review of Late Pliocene to present activity. Journal of Volcanology and Geothermal Research, 176, 1-6.

Hughes, R. & Pilatasig, L. (2002). Cretaceous and Tertiary terrane accretion in the Cordillera Occidental of the Andes of Ecuador. Tectonophysics 345, 29-48.

Instituto Geográfico Militar – IGM. (1979). Mapa Topográfico del Ecuador, Escala 1:25.000, Hoja Calacalí, Edición 2-IGM, Serie J821, Hoja ÑII-E4b, 3894 II NE. Quito-Ecuador.

Instituto Geográfico Militar – IGM. (2008). Mapa Topográfico del Ecuador, Escala 1:25.000, Hoja Chavezpamba, Edición 3-IGM, Serie J821, Hoja CT-ÑII-E4d, 3894-II-SE. Quito-Ecuador.

Instituto Geográfico Militar – IGM. (2008). Mapa Topográfico del Ecuador, Escala 1:25.000, Hoja Los Reales (Chespi), Edición 3-IGM, Serie J821, Hoja ÑII-F3c, 3994 III SW. Quito-Ecuador.

Instituto Geográfico Militar – IGM. (2008). Mapa Topográfico del Ecuador, Escala 1:25.000, Hoja Puéllaro, Edición 3-IGM, Serie J821, Hoja ÑII-E4b, 3894 II NE. Quito-Ecuador.

Ministerio de Agricultura, Ganadería, Acuacultura y Pesca – MAGAP. (2012). Mapa de Cuencas Hidrográficas - Provincia de Pichincha, Escala 1:750.000. Coordinación General del Sistema de Información Nacional.

Ministerio de Agricultura, Ganadería, Acuacultura y Pesca – MAGAP. (2012). Mapa de Suelos - Taxonomía - Provincia de Pichincha, Escala 1:750.000. Coordinación General del Sistema de Información Nacional.

Ministerio de Agricultura, Ganadería, Acuacultura y Pesca – MAGAP. (2012). Mapa de Tipos de Clima - Provincia de Pichincha, Escala 1:750.000. Coordinación General del Sistema de Información Nacional.

Ministerio del Ambiente del Ecuador - MAE. (2012). Sistema de clasificación de los ecosistemas del Ecuador continental. Subsecretaría de Patrimonio Natural. Quito.

Ministerio del Ambiente del Ecuador - MAE. (2013). Metodología para la Representación Cartográfica de los Ecosistemas del Ecuador Continental. Subsecretaría de Patrimonio Natural. Quito.

Moreano, M. (2009). Reserva Geobotánica Pululahua, Guía de Interpretación, Ministerio de Turismo del Ecuador. Quito-Ecuador.

Olea, R. (2009). A Practical Primer on Geostatistics. U.S. Geological Survey, Open-File Report 2009-1103. 346 p.

Phillips, S.J., Anderson, R.P. & Schapire, R.E. (2006). Maximum entropy modeling of species geographic distributions. *Ecological Modelling*, 190; 231-259.

Ping, C. (1999). Volcanic Soils. *Encyclopedia of Volcanoes*, Academic Press. 1259-1270.

Registro oficial (1966), Año III, No. 536, Talleres Gráficos Editora Nacional, Quito-Ecuador.

Registro oficial (1978), Año III, No. 715, Talleres Gráficos Editora Nacional, Quito-Ecuador.

Registro oficial (1985), Año I, No. 181, Talleres Gráficos Editora Nacional, Quito-Ecuador.

Rivadeneira-Roura, C. (2007). Reserva Geobotánica Pululahua. Guía del Patrimonio de Áreas Naturales Protegidas del Ecuador. ECOFUND, FAN, DarwinNet, IGM. Quito-Ecuador. 115-120.

Santacruz, G. (2013). Hacienda Pululahua: historia, memoria y naturaleza. "Nuestro Patrimonio" Revista del Ministerio Coordinador del Patrimonio, No. 41. Quito-Ecuador. pág. 30.

Scheldeman, X. & van Zonneveld, M. (2011). Manual de Capacitación en Análisis Espacial de Diversidad y Distribución de Plantas. Biodiversity International, Roma, Italia. 186 pp.

Touré, D. & Ge, J. (2014). The Response of Plant Species Diversity to the Interrelationships between Soil and Environmental Factors in the Limestone Forests of Southwest China. Journal of Environment and Earth Science, Vol 4, No. 8, 105-122.

Valdivieso, J. (2005). Propuesta para la gestión integral del suelo no urbanizable del Distrito Metropolitano de Quito – Resumen Ejecutivo, Programa de Saneamiento Ambiental para el Distrito Metropolitano de Quito (PSA),1-19.

Winckell, A., Zebrowski, C. & Sourdat, M. (1997). Los paisajes naturales del Ecuador. Las regiones y paisajes del Ecuador. Geografía Básica del Ecuador, Tomo IV Volumen 2, Geografía Física, CEDIG, Quito-Ecuador.

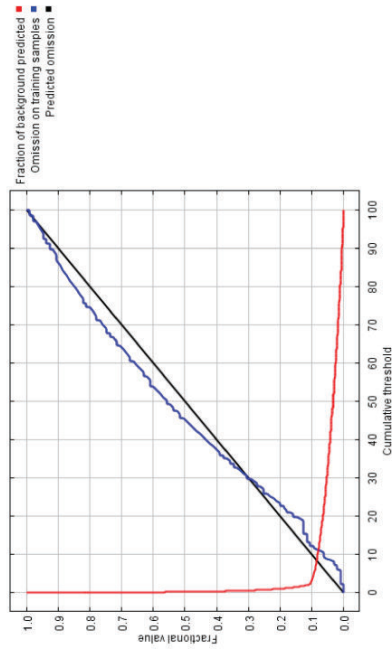
Worldclim. Datos climáticos actuales, futuros y pasados, en: <http://www.worldclim.org/>

ANEXOS

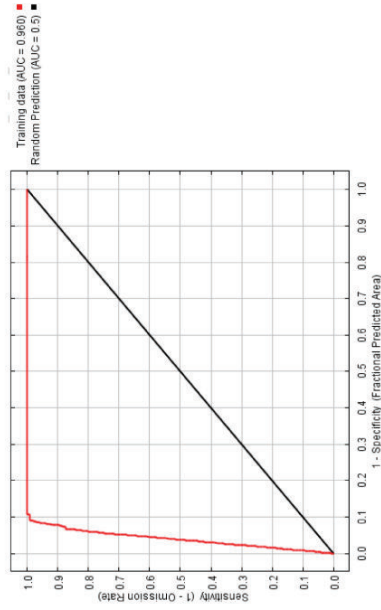
Maxent model for Bosque_siempreverde_montano_bajo_de_Cordillera_Occidental_de los Andes

Analysis of omission/commission

The following picture shows the omission rate and predicted area as a function of the cumulative threshold. The omission rate is calculated both on the training presence records, and (if test data are used) on the test records. The omission rate should be close to the predicted omission, because of the definition of the cumulative threshold.

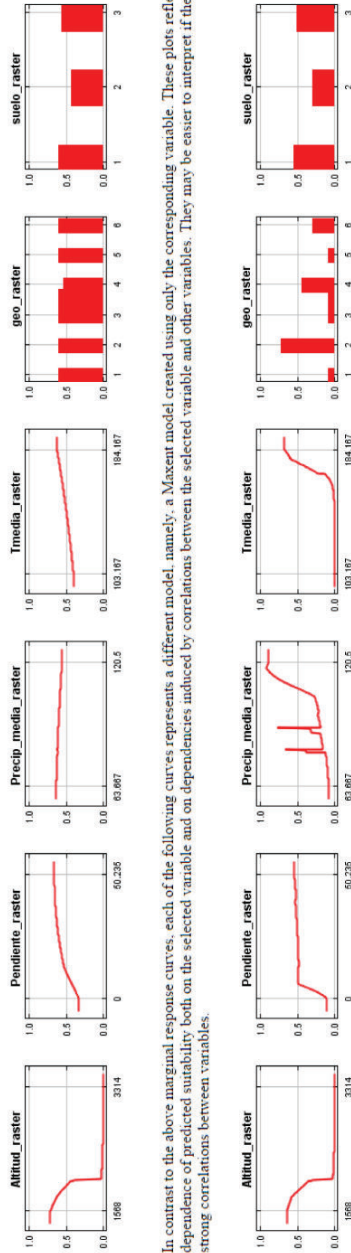


The next picture is the receiver operating characteristic (ROC) curve for the same data. Note that the specificity is defined using predicted area, rather than true commission. This implies that the maximum achievable AUC is less than 1. If test data is drawn from the Maxent distribution itself, then the maximum possible test AUC would be 0.956 rather than 1: in practice the test AUC may exceed this bound.



Response curves

These curves show how each environmental variable affects the Maxent prediction. The curves show how the logistic prediction changes as each environmental variable is varied, keeping all other environmental variables at their average sample value. Click on a response curve to see a larger version. Note that the curves can be hard to interpret if you have strongly correlated variables, as the model may depend on the correlations in ways that are not evident in the curves. In other words, the curves show the marginal effect of changing exactly one variable, whereas the model may take advantage of sets of variables changing together.

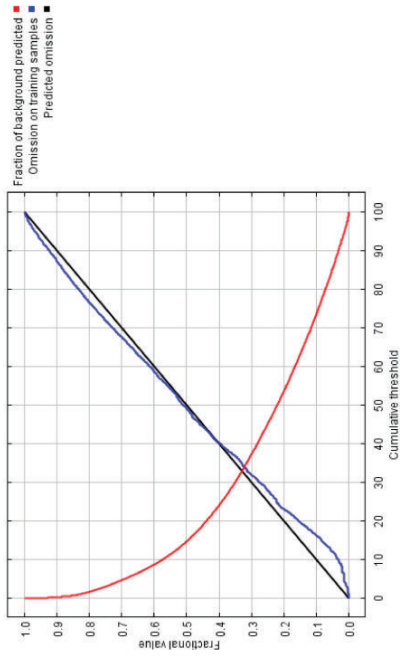


In contrast to the above marginal response curves, each of the following curves represents a different model, namely, a Maxent model, created using only the corresponding variable. These plots reflect the dependence of predicted suitability both on the selected variable and on dependencies induced by correlations between the selected variable and other variables. They may be easier to interpret if there are strong correlations between variables.

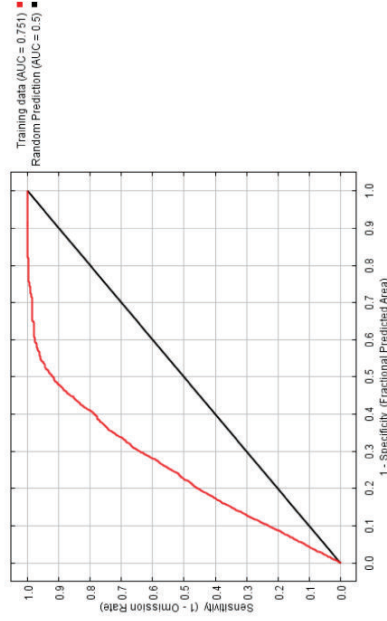
Maxent model for Bosque_siempreverde_montano_de_Cordillera_Occidental_de_los_Andes

Analysis of omission/commission

The following picture shows the omission rate and predicted area as a function of the cumulative threshold. The omission rate is calculated both on the training presence records, and (if test data are used) on the test records. The omission rate should be close to the predicted omission, because of the definition of the cumulative threshold.

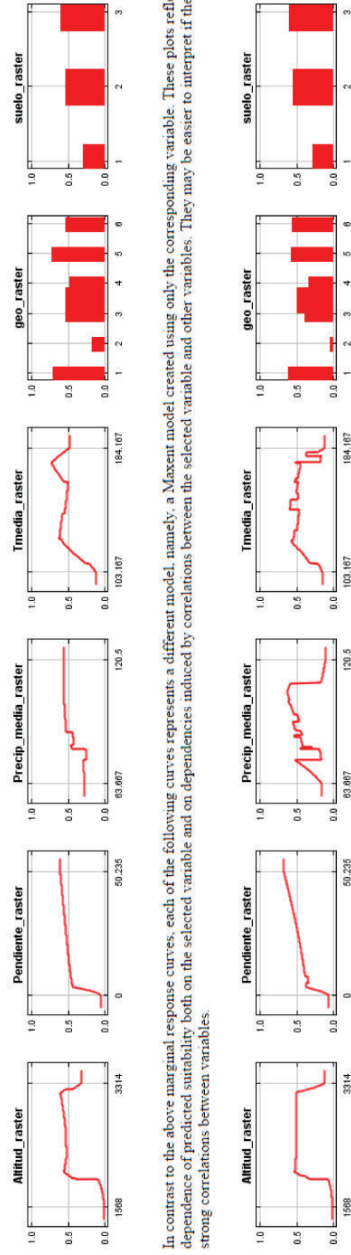


The next picture is the receiver operating characteristic (ROC) curve for the same data. Note that the specificity is defined using predicted area, rather than true commission. This implies that the maximum achievable AUC is less than 1. If test data is drawn from the Maxent distribution itself, then the maximum possible test AUC would be 0.956 rather than 1. In practice the test AUC may exceed this bound.



Response curves

These curves show how each environmental variable affects the Maxent prediction. The curves show how the logistic prediction changes as each environmental variable is varied, keeping all other environmental variables at their average sample value. Click on a response curve to see a larger version. Note that the curves can be hard to interpret if you have strongly correlated variables, as the model may depend on the correlations in ways that are not evident in the curves. In other words, the curves show the marginal effect of changing exactly one variable, whereas the model may take advantage of sets of variables changing together.

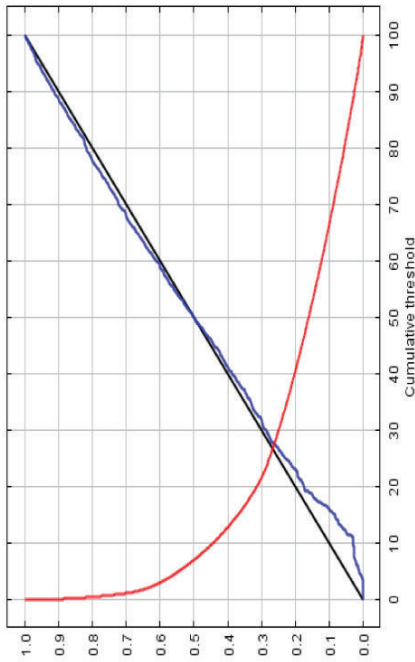


In contrast to the above marginal response curves, each of the following curves represents a different model, namely, a Maxent model created using only the corresponding variable. These plots reflect the dependence of predicted suitability both on the selected variable and on dependencies induced by correlations between the selected variable and other variables. They may be easier to interpret if there are strong correlations between variables.

Maxent model for Bosque_y_Arbustal_semideciduo_del_norte_de_los_Valles

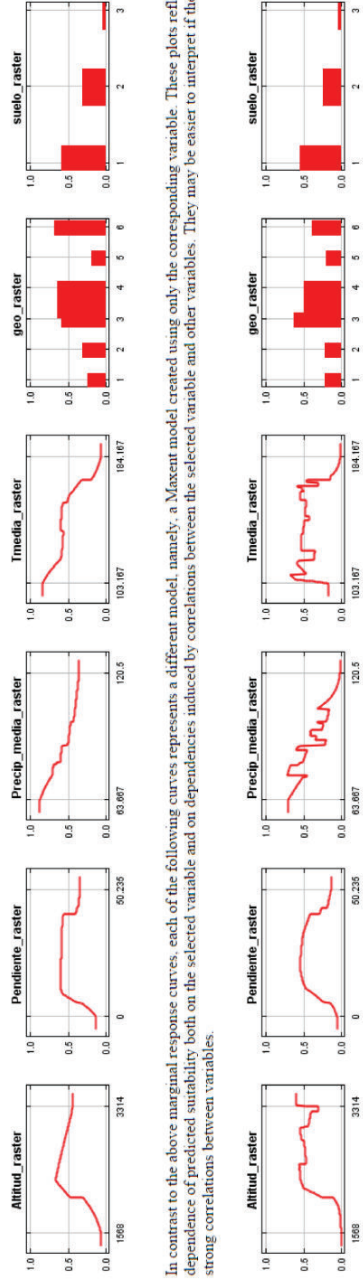
Analysis of omission/commission

The following picture shows the omission rate and predicted area as a function of the cumulative threshold. The omission rate is calculated both on the training presence records, and (if test data are used) on the test records. The omission rate should be close to the predicted omission, because of the definition of the cumulative threshold.



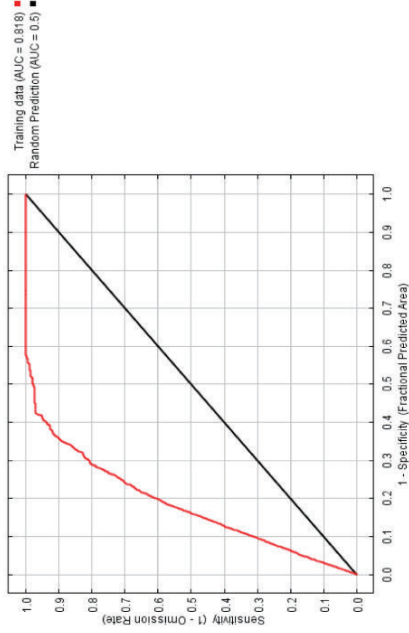
Response curves

These curves show how each environmental variable affects the Maxent prediction. The curves show how the logistic prediction changes as each environmental variable is varied, keeping all other environmental variables at their average sample value. Click on a response curve to see a larger version. Note that the curves can be hard to interpret if you have strongly correlated variables, as the model may depend on the correlations in ways that are not evident in the curves. In other words, the curves show the marginal effect of changing exactly one variable, whereas the model may take advantage of sets of variables changing together.



In contrast to the above marginal response curves, each of the following curves represents a different model, namely, a Maxent model created using only the corresponding variable. These plots reflect the dependence of predicted suitability both on the selected variable and on dependencies induced by correlations between the selected variable and other variables. They may be easier to interpret if there are strong correlations between variables.

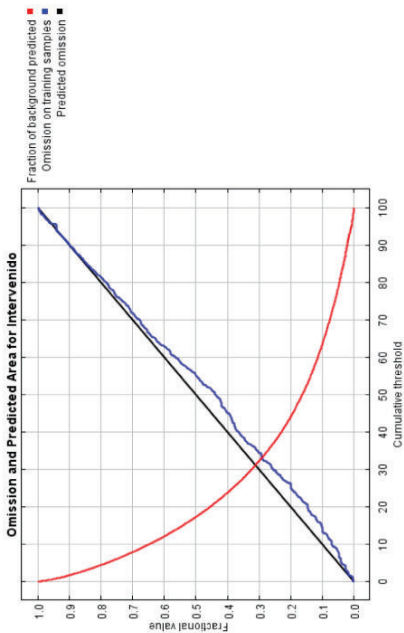
The next picture is the receiver operating characteristic (ROC) curve for the same data. Note that the specificity is defined using predicted area, rather than true commission. This implies that the maximum achievable AUC is less than 1. If test data is drawn from the Maxent distribution itself, then the maximum possible test AUC would be 0.956 rather than 1, in practice the test AUC may exceed this bound.



Maxent model for Intervenido

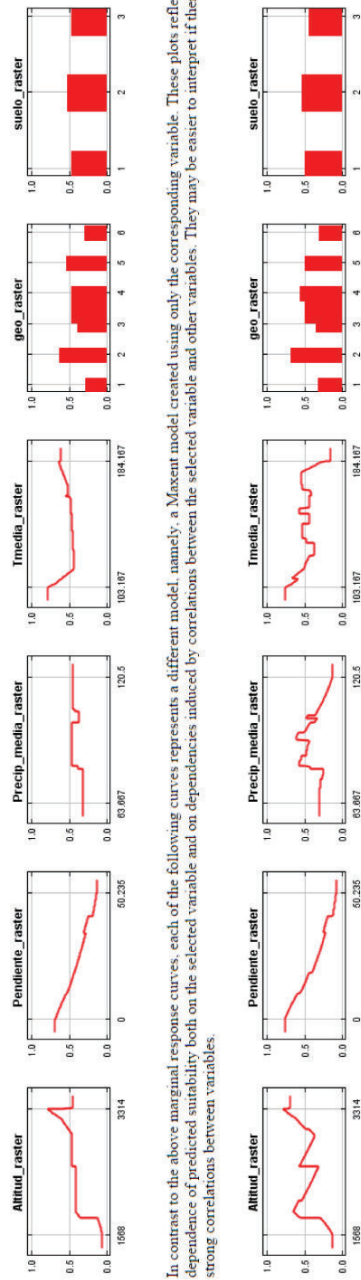
Analysis of omission/commission

The following picture shows the omission rate and predicted area as a function of the cumulative threshold. The omission rate is calculated both on the training presence records, and (if test data are used) on the test records. The omission rate should be close to the predicted omission, because of the definition of the cumulative threshold.



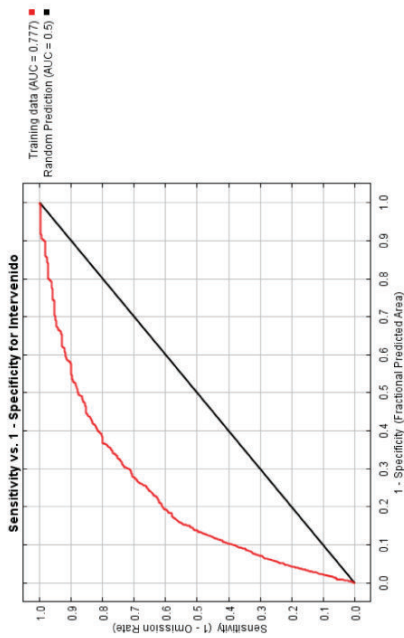
Response curves

These curves show how each environmental variable affects the Maxent prediction. The curves show how the logistic prediction changes as each environmental variable is varied, keeping all other environmental variables at their average sample value. Click on a response curve to see a larger version. Note that the curves can be hard to interpret if you have strongly correlated variables, as the model may depend on the correlations in ways that are not evident in the curves. In other words, the curves show the marginal effect of changing exactly one variable, whereas the model may take advantage of sets of variables changing together.



In contrast to the above marginal response curves, each of the following curves represents a different model, namely, a Maxent model created using only the corresponding variable. These plots reflect the dependence of predicted suitability both on the selected variable and on dependencies induced by correlations between the selected variable and other variables. They may be easier to interpret if there are strong correlations between variables.

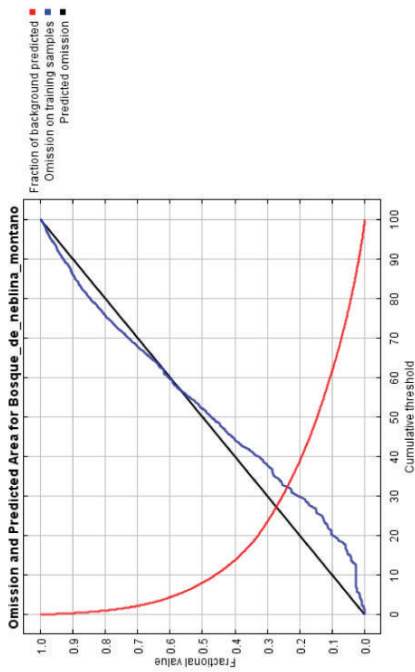
The next picture is the receiver operating characteristic (ROC) curve for the same data. Note that the specificity is defined using predicted area, rather than true commission. This implies that the maximum achievable AUC is less than 1. If test data is drawn from the Maxent distribution itself, then the maximum possible test AUC would be 0.956 rather than 1, in practice the test AUC may exceed this bound.



Maxent model for Bosque_de_neblina_montano

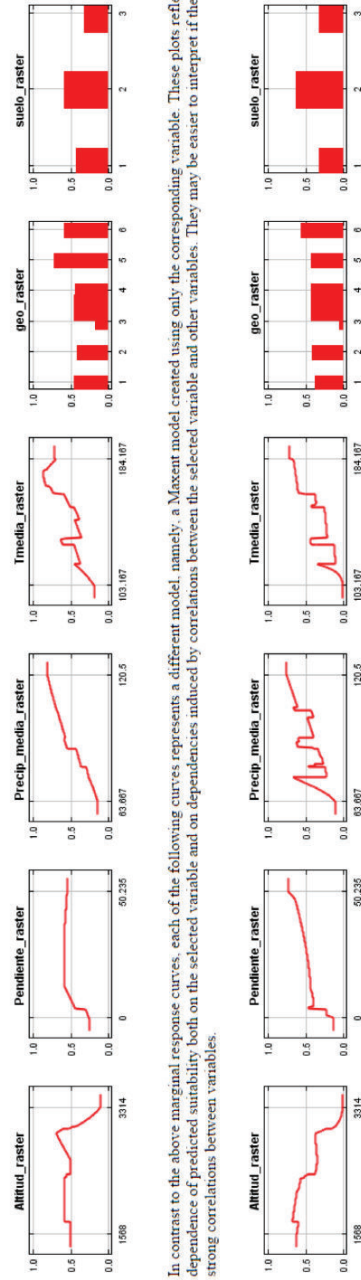
Analysis of omission/commission

The following picture shows the omission rate and predicted area as a function of the cumulative threshold. The omission rate is calculated both on the training presence records, and (if test data are used) on the test records. The omission rate should be close to the predicted omission, because of the definition of the cumulative threshold.



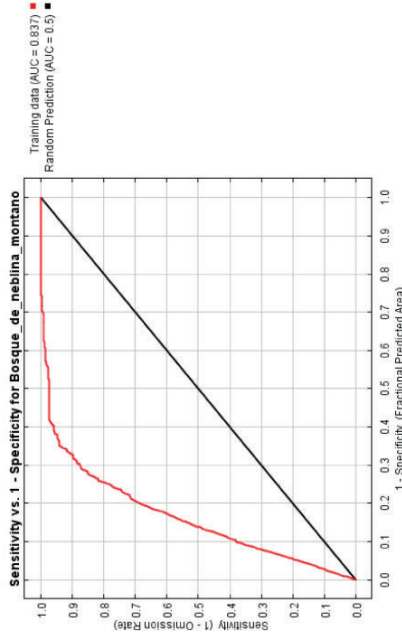
Response curves

These curves show how each environmental variable affects the Maxent prediction. The curves show how the logistic prediction changes as each environmental variable is varied, keeping all other environmental variables at their average sample value. Click on a response curve to see a larger version. Note that the curves can be hard to interpret if you have strongly correlated variables, as the model may depend on the correlations in ways that are not evident in the curves. In other words, the curves show the marginal effect of changing exactly one variable, whereas the model may take advantage of sets of variables changing together.



In contrast to the above marginal response curves, each of the following curves represents a different model, namely, a Maxent model created using only the corresponding variable. These plots reflect the dependence of predicted suitability both on the selected variable and on dependencies induced by correlations between the selected variable and other variables. They may be easier to interpret if there are strong correlations between variables.

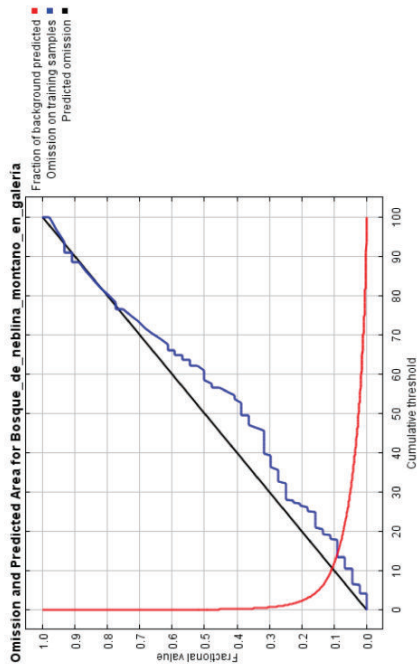
The next picture is the receiver operating characteristic (ROC) curve for the same data. Note that the specificity is defined using predicted area, rather than true commission. This implies that the maximum achievable AUC is less than 1. If test data is drawn from the Maxent distribution itself, then the maximum possible test AUC would be 0.956 rather than 1. In practice the test AUC may exceed this bound.



Maxent model for Bosque_de_neblina_montano_en_galería

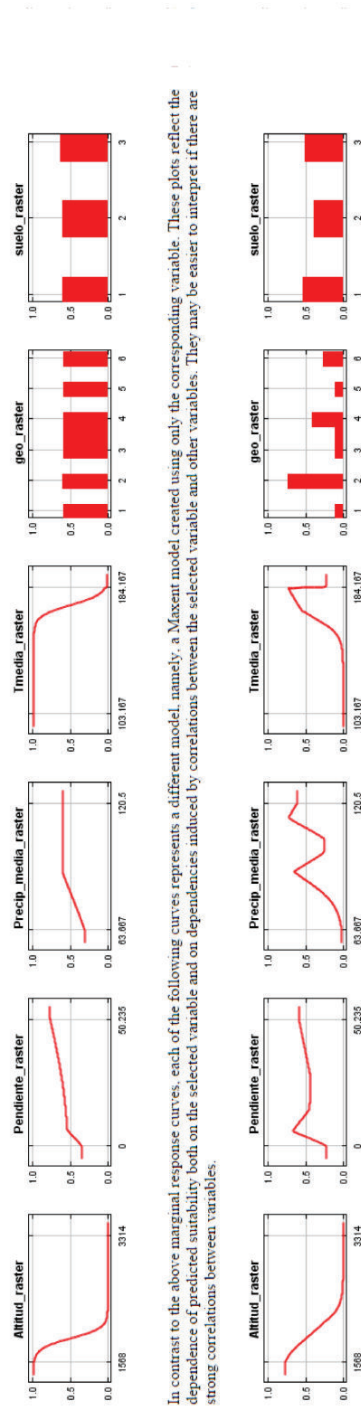
Analysis of omission/commission

The following picture shows the omission rate and predicted area as a function of the cumulative threshold. The omission rate is calculated both on the training presence records, and (if test data are used) on the test records. The omission rate should be close to the predicted omission, because of the definition of the cumulative threshold.



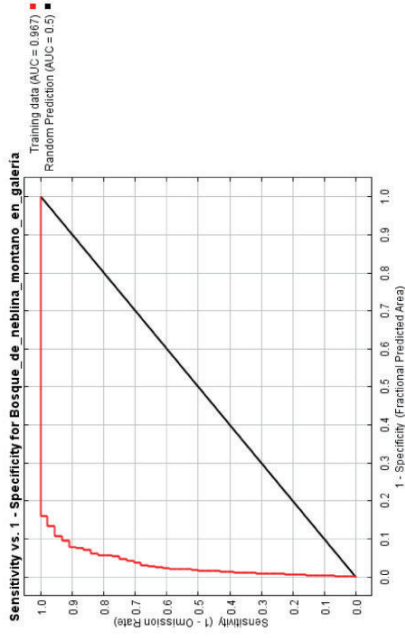
Response curves

These curves show how each environmental variable affects the Maxent prediction. The curves show how the logistic prediction changes as each environmental variable is varied, keeping all other environmental variables at their average sample value. Click on a response curve to see a larger version. Note that the curves can be hard to interpret if you have strongly correlated variables, as the model may depend on the correlations in ways that are not evident in the curves. In other words, the curves show the marginal effect of changing exactly one variable, whereas the model may take advantage of sets of variables changing together.



In contrast to the above marginal response curves, each of the following curves represents a different model, namely, a Maxent model created using only the corresponding variable. These plots reflect the dependence of predicted suitability both on the selected variable and on dependencies induced by correlations between the selected variable and other variables. They may be easier to interpret if there are strong correlations between variables.

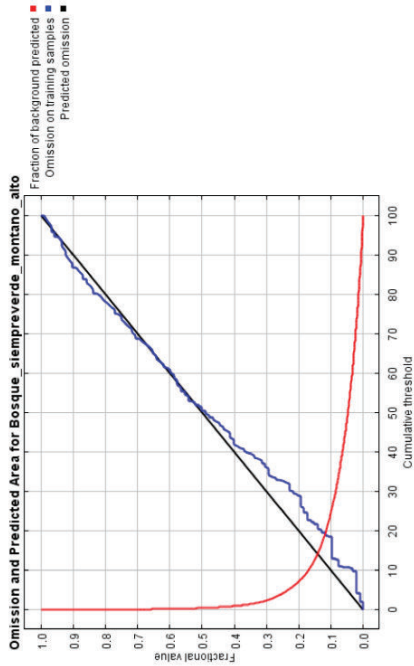
The next picture is the receiver operating characteristic (ROC) curve for the same data. Note that the specificity is defined using predicted area, rather than true commission. This implies that the maximum achievable AUC is less than 1. If test data is drawn from the Maxent distribution itself, then the maximum possible test AUC would be 0.956 rather than 1; in practice the test AUC may exceed this bound.



Maxent model for Bosque_siempreverde_montano_alto

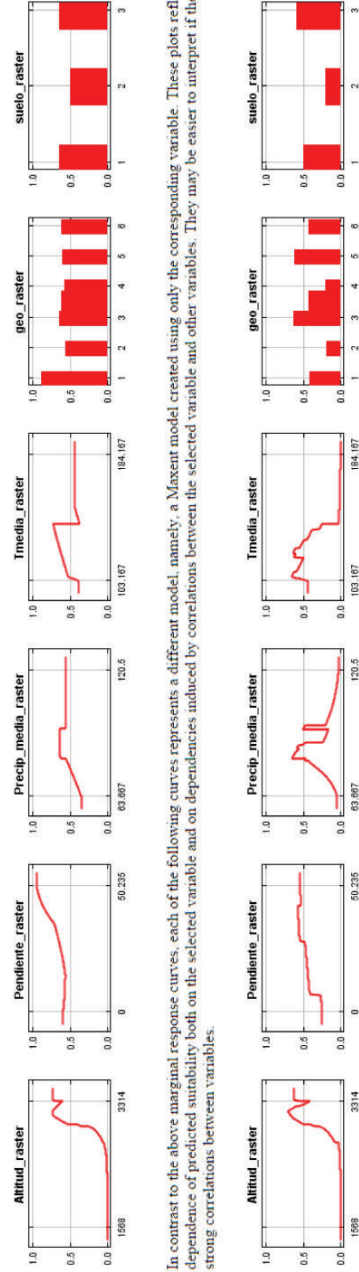
Analysis of omission/commission

The following picture shows the omission rate and predicted area as a function of the cumulative threshold. The omission rate is calculated both on the training presence records, and (if test data are used) on the test records. The omission rate should be close to the predicted omission, because of the definition of the cumulative threshold.



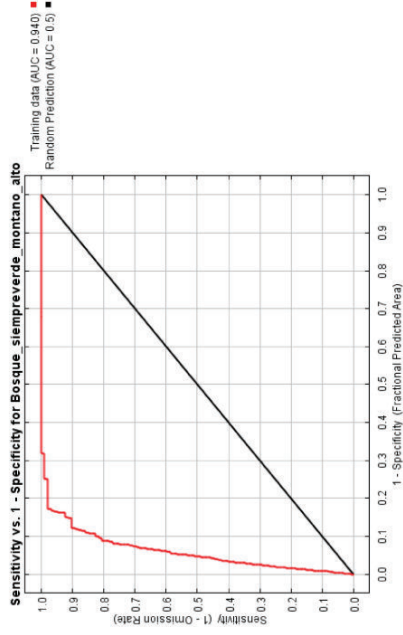
Response curves

These curves show how each environmental variable affects the Maxent prediction. The curves show how the logistic prediction changes as each environmental variable is varied, keeping all other environmental variables at their average sample value. Click on a response curve to see a larger version. Note that the curves can be hard to interpret if you have strongly correlated variables, as the model may depend on the correlations in ways that are not evident in the curves. In other words, the curves show the marginal effect of changing exactly one variable, whereas the model may take advantage of sets of variables changing together.



In contrast to the above marginal response curves, each of the following curves represents a different model, namely, a Maxent model created using only the corresponding variable. These plots reflect the dependence of predicted suitability both on the selected variable and on dependencies induced by correlations between the selected variable and other variables. They may be easier to interpret if there are strong correlations between variables.

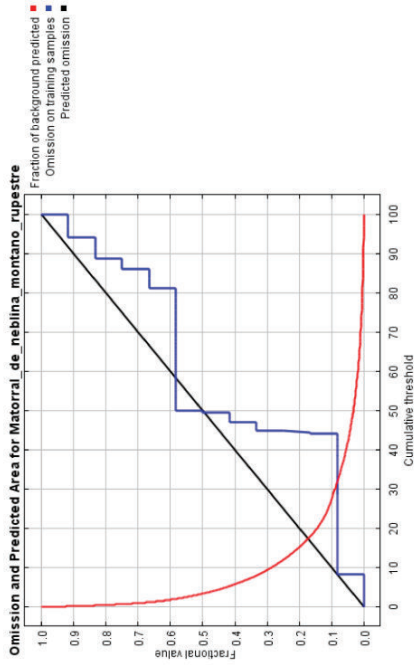
The next picture is the receiver operating characteristic (ROC) curve for the same data. Note that the specificity is defined using predicted area, rather than true commission. This implies that the maximum achievable AUC is less than 1. If test data is drawn from the Maxent distribution itself, then the maximum possible test AUC would be 0.956 rather than 1: in practice the test AUC may exceed this bound.



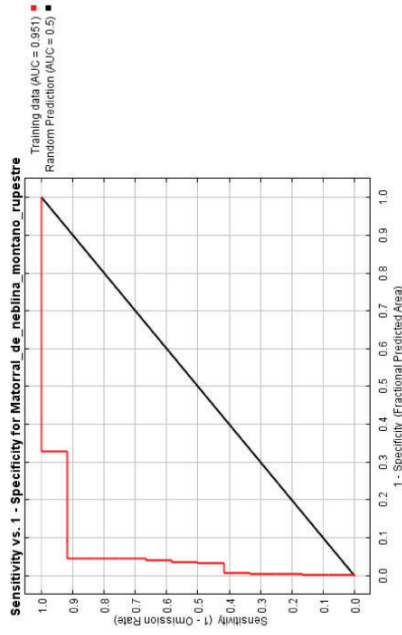
Maxent model for Matorral_de_neblina_montano_rupestre

Analysis of omission/commission

The following picture shows the omission rate and predicted area as a function of the cumulative threshold. The omission rate is calculated both on the training presence records, and (if test data are used) on the test records. The omission rate should be close to the predicted omission, because of the definition of the cumulative threshold.

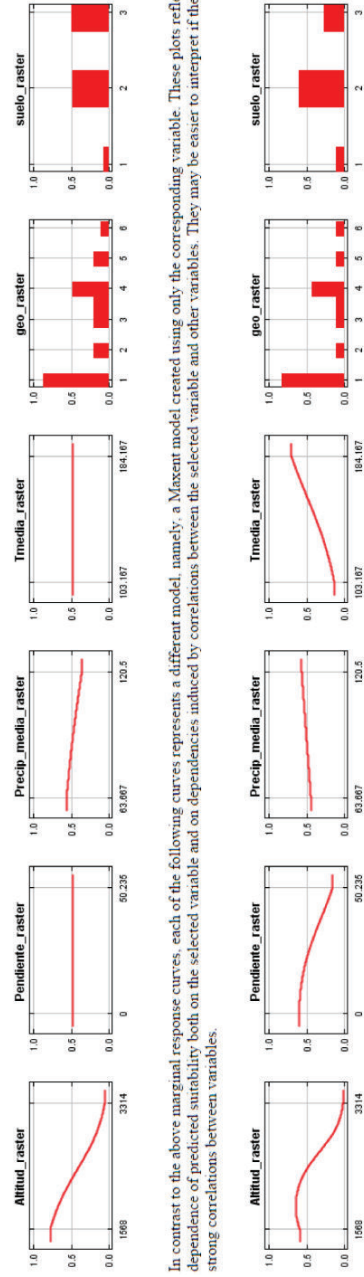


The next picture is the receiver operating characteristic (ROC) curve for the same data. Note that the specificity is defined using predicted area, rather than true commission. This implies that the maximum achievable AUC is less than 1. If test data is drawn from the Maxent distribution itself, then the maximum possible test AUC would be 0.956 rather than 1; in practice the test AUC may exceed this bound.



Response curves

These curves show how each environmental variable affects the Maxent prediction. The curves show how the logistic prediction changes as each environmental variable is varied, keeping all other environmental variables at their average sample value. Click on a response curve to see a larger version. Note that the curves can be hard to interpret if you have strongly correlated variables, as the model may depend on the correlations in ways that are not evident in the curves. In other words, the curves show the marginal effect of changing exactly one variable, whereas the model may take advantage of sets of variables changing together.

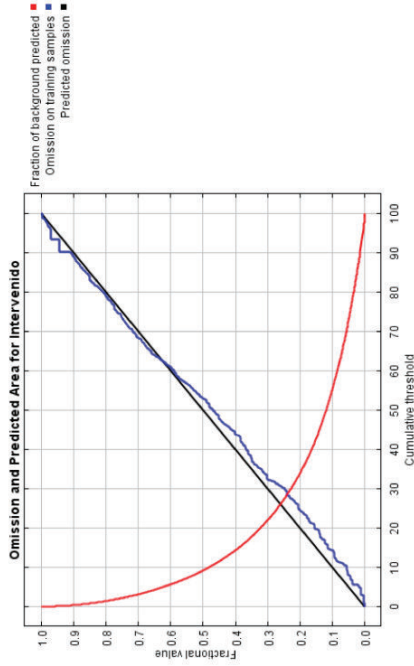


In contrast to the above marginal response curves, each of the following curves represents a different model, namely, a Maxent model created using only the corresponding variable. These plots reflect the dependence of predicted suitability both on the selected variable and on dependencies induced by correlations between the selected variable and other variables. They may be easier to interpret if there are strong correlations between variables.

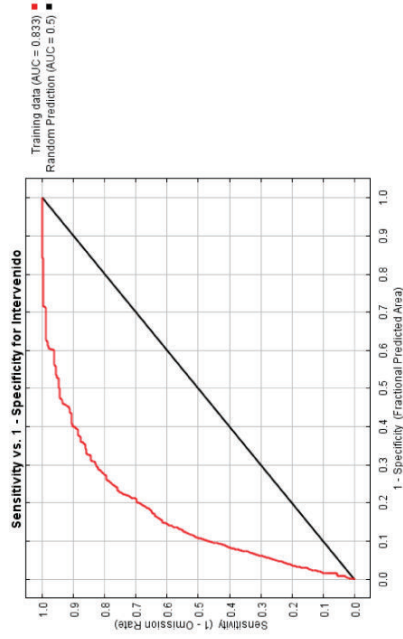
Maxent model for Intervenido

Analysis of omission/commission

The following picture shows the omission rate and predicted area as a function of the cumulative threshold. The omission rate is calculated both on the training presence records, and (if test data are used) on the test records. The omission rate should be close to the predicted omission, because of the definition of the cumulative threshold.

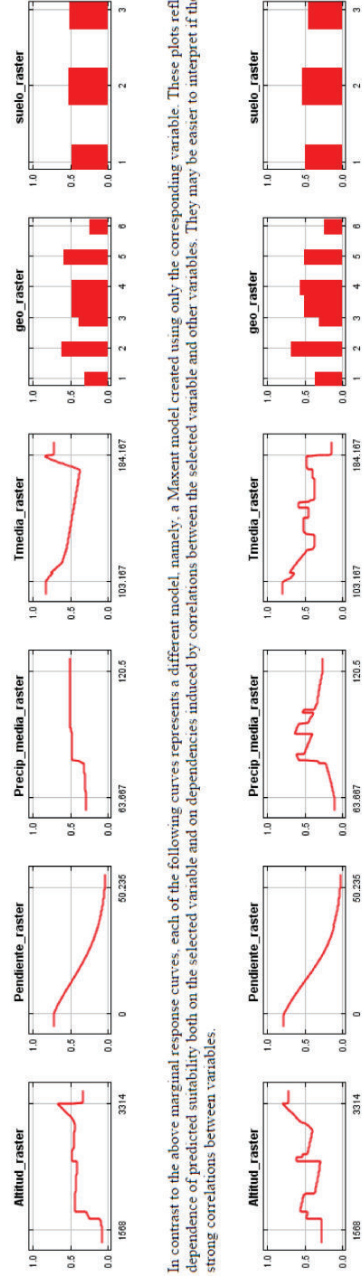


The next picture is the receiver operating characteristic (ROC) curve for the same data. Note that the specificity is defined using predicted area, rather than true commission. This implies that the maximum achievable AUC is less than 1. If test data is drawn from the Maxent distribution itself, then the maximum possible test AUC would be 0.956 rather than 1; in practice the test AUC may exceed this bound.



Response curves

These curves show how each environmental variable affects the Maxent prediction. The curves show how the logistic prediction changes as each environmental variable is varied, keeping all other environmental variables at their average sample value. Click on a response curve to see a larger version. Note that the curves can be hard to interpret if you have strongly correlated variables, as the model may depend on the correlations in ways that are not evident in the curves. In other words, the curves show the marginal effect of changing exactly one variable, whereas the model may take advantage of sets of variables changing together.

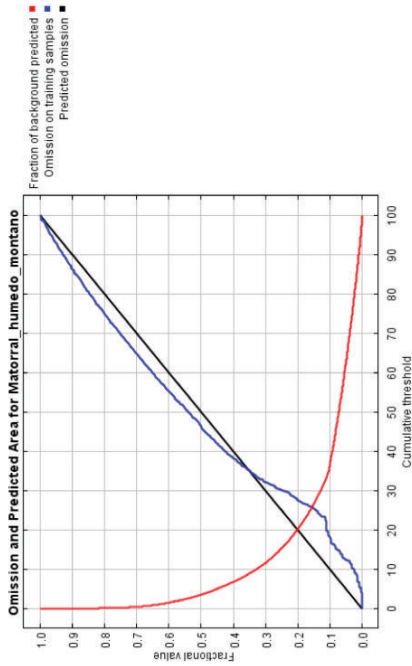


In contrast to the above marginal response curves, each of the following curves represents a different model, namely, a Maxent model created using only the corresponding variable. These plots reflect the dependence of predicted suitability both on the selected variable and on dependencies induced by correlations between the selected variable and other variables. They may be easier to interpret if there are strong correlations between variables.

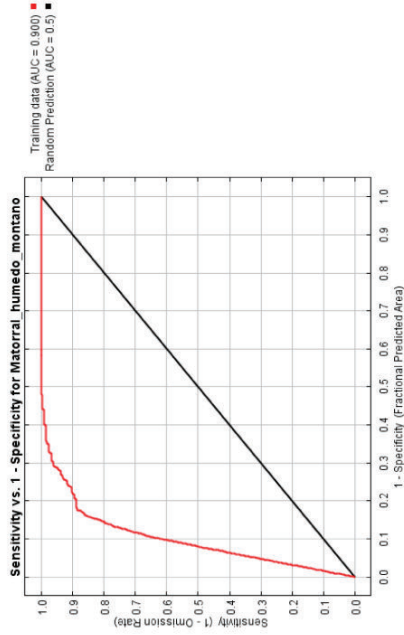
Maxent model for Matorral_humedo_montano

Analysis of omission/commission

The following picture shows the omission rate and predicted area as a function of the cumulative threshold. The omission rate is calculated both on the training presence records, and (if test data are used) on the test records. The omission rate should be close to the predicted omission, because of the definition of the cumulative threshold.

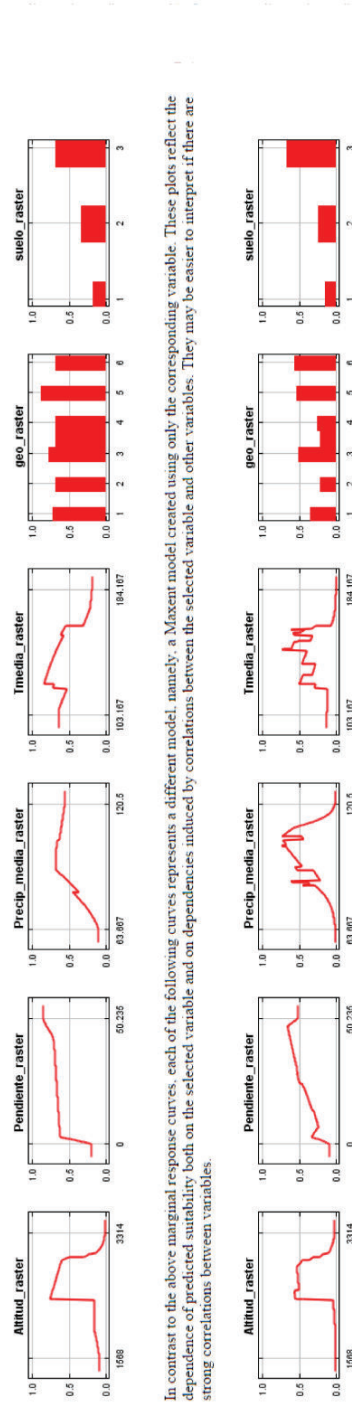


The next picture is the receiver operating characteristic (ROC) curve for the same data. Note that the specificity is defined using predicted area, rather than true commission. This implies that the maximum achievable AUC is less than 1. If test data is drawn from the Maxent distribution itself, then the maximum possible test AUC would be 0.956 rather than 1; in practice the test AUC may exceed this bound.



Response curves

These curves show how each environmental variable affects the Maxent prediction. The curves show how the logistic prediction changes as each environmental variable is varied, keeping all other environmental variables at their average sample value. Click on a response curve to see a larger version. Note that the curves can be hard to interpret if you have strongly correlated variables, as the model may depend on the correlations in ways that are not evident in the curves. In other words, the curves show the marginal effect of changing exactly one variable, whereas the model may take advantage of sets of variables changing together.

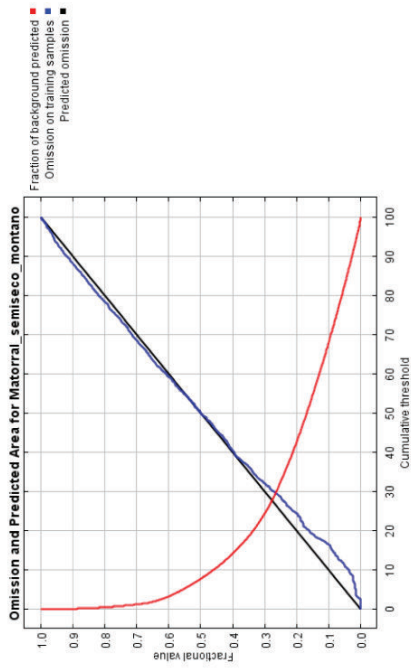


In contrast to the above marginal response curves, each of the following curves represents a different model, namely, a Maxent model created using only the corresponding variable. These plots reflect the dependence of predicted suitability, both on the selected variable and on dependencies induced by correlations between the selected variable and other variables. They may be easier to interpret if there are strong correlations between variables.

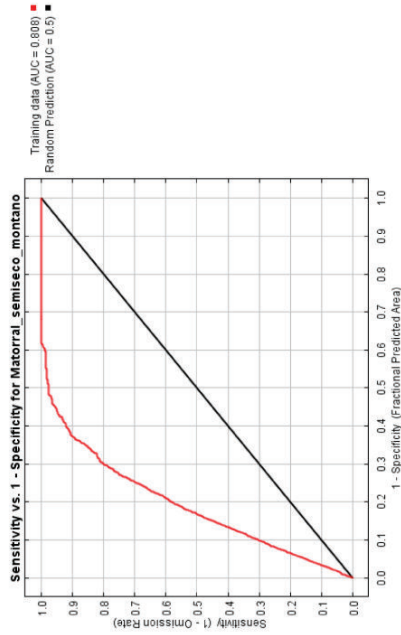
Maxent model for Matorral_semiseco_montano

Analysis of omission/commission

The following picture shows the omission rate and predicted area as a function of the cumulative threshold. The omission rate is calculated both on the training presence records, and (if test data are used) on the test records. The omission rate should be close to the predicted omission, because of the definition of the cumulative threshold.

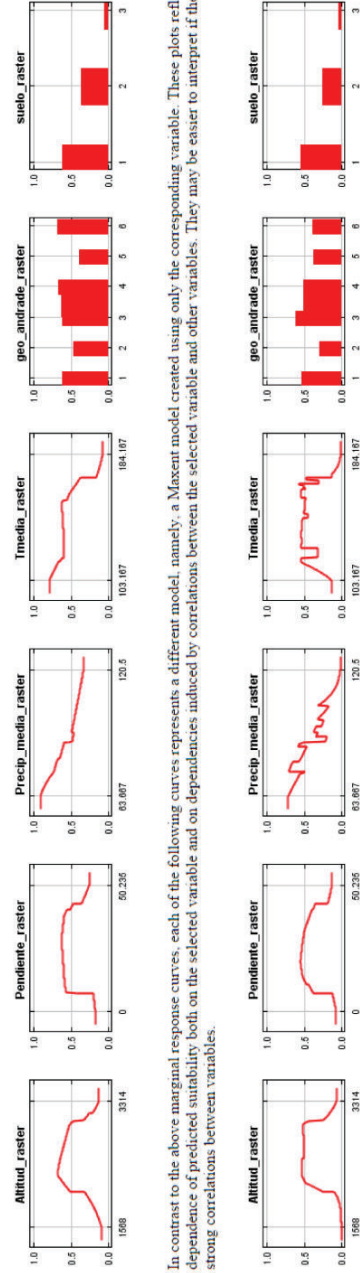


The next picture is the receiver operating characteristic (ROC) curve for the same data. Note that the specificity is defined using predicted area, rather than true commission. This implies that the maximum achievable AUC is less than 1. If test data is drawn from the Maxent distribution itself, then the maximum possible test AUC would be 0.956 rather than 1; in practice the test AUC may exceed this bound.



Response curves

These curves show how each environmental variable affects the Maxent prediction. The curves show how the logistic prediction changes as each environmental variable is varied, keeping all other environmental variables at their average sample value. Click on a response curve to see a larger version. Note that the curves can be hard to interpret if you have strongly correlated variables, as the model may depend on the correlations in ways that are not evident in the curves. In other words, the curves show the marginal effect of changing exactly one variable, whereas the model may take advantage of sets of variables changing together.



In contrast to the above marginal response curves, each of the following curves represents a different model, namely, a Maxent model created using only the corresponding variable. These plots reflect the dependence of predicted suitability both on the selected variable and on dependencies induced by correlations between the selected variable and other variables. They may be easier to interpret if there are strong correlations between variables.