UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS AGROPECUARIAS Y AMBIENTALES

CARRERA DE INGENIERÍA FORESTAL

INFORME FINAL DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR, MODALIDAD PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

TEMA:

"Distribución espacial y comportamiento ecológico de *Hesperomeles obtusifolia* (Pers) Lindl en la zona andina del cantón Cotacachi"

Trabajo de titulación previo a la obtención del título de Ingeniera Forestal

Línea de investigación: Desarrollo agropecuario y forestal sostenible

Autor: Joselyn Irene Pomasque Campues

Director: Ing. Oscar Hernando Eraso Terán, PhD.

Ibarra -Junio – 2026

UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
DIRECCIÓN DE BIBLIOTECA

AUTORIZACIÓN DE USO Y PUBLICACIÓN A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

1. IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA

En cumplimiento del Art. 144 de la Ley de Educación Superior, hago la entrega del presente trabajo a la Universidad Técnica del Norte para que sea publicado en el Repositorio Digital Institucional, para lo cual pongo a disposición la siguiente información:

DATOS DE CONTACTO	
APELLIDOS Y NOMBRES:	Pomasque Campues Joselyn Irene

DATOS DE LA OBRA	
TÍTULO:	Distribución espacial y comportamiento ecológico de H*esperomeles obtusifolia* (Pers) Lindl en la zona andina del cantón Cotacachi.
AUTOR (ES):	Pomasque Campues Joselyn Irene
FECHA: **DD/MM/AAAA**	23/06/2026
SOLO PARA TRABAJOS DE GRADO	
PROGRAMA:	■ **PREGRADO** ☐ **POSGRADO**
TITULO POR EL QUE OPTA:	Ingeniera Forestal
DIRECTOR/ ASESOR:	Ing. Oscar Hernando Eraso Terán, PhD. Ing. Hugo Vinicio Vallejos Álvarez, MSc.

2. CONSTANCIAS

El autor manifiesta que la obra objeto de la presente autorización es original y se la desarrolló, sin violar derechos de autor de terceros, por lo tanto, la obra es original y que es el titular de los derechos patrimoniales, por lo que asume la responsabilidad sobre el contenido de la misma y saldrá en defensa de la Universidad en caso de reclamación por parte de terceros.

Ibarra, a los 23 días, del mes de junio de 2026

EL AUTOR:

Firma. 

.....

Nombre: Joselyn Irene Pomasque Campues

CERTIFICACIÓN DIRECTOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

Ibarra, 23 de junio de 2026

Ing. Oscar Hernando Eraso Terán, PhD.

DIRECTOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

CERTIFICA:

Haber revisado el presente informe final del trabajo de Integración Curricular, el mismo que se ajusta a las normas vigentes de la Universidad Técnica del Norte; en consecuencia, autorizo su presentación para los fines legales pertinentes.



(f) ……

Ing. Oscar Hernando Eraso Terán, PhD.

C.C.: 1003565718

APROBACIÓN DEL COMITÉ CALIFICADOR

El Comité Calificado del trabajo de Integración Curricular "Distribución espacial y comportamiento ecológico de *Hesperomeles obtusifolia* (Pers) Lindl en la zona andina del cantón Cotacachi" elaborado por Pomasque Campues Joselyn Irene, previo a la obtención del título de Ingeniería Forestal, aprueba el presente informe de investigación en nombre de la Universidad Técnica del Norte:



(f):…….

Ing. Oscar Hernando Eraso Terán, PhD.
C.C. 1003565718



(f):…….
Ing. Hugo Vinicio Vallejos Alvarez, Msc.
C.C. 1002018941

DEDICATORIA

Agradezco infinitamente a Dios, por ser mi guía en cada paso de este camino, por darme fortaleza en los momentos en los que sentía no poder más, por sostenerme y llenarme de sabiduría durante todo este proceso.

Con todo el amor y cariño del mundo, dedico este logro a mi madre, Rosa Campues, por estar siempre a mi lado, por brindarme su apoyo y amor incondicional, y por enseñarme con su ejemplo a ser fuerte y perseverante. Eres mi mayor orgullo.

A mi padre, Enrique Pomasque, gracias por su apoyo y por acompañarme en este camino, siendo parte importante de este logro.

Dedico también este trabajo a mis ángeles en el cielo, quienes fueron mi refugio en los momentos más difíciles y me dieron fuerzas para no rendirme. En especial, a mi abuelita Flora, por haberme cuidado, amado y consentido siempre, dejando una huella eterna en mi corazón y en mi vida.

Agradezco profundamente a mis hermanos: Lorena, Verónica, Anderson, Nathaly y Dilan, por su apoyo, sus consejos y por estar presentes de la manera más sincera y amorosa.

Elvis Potosí, gracias mi amor, por ser mi compañero, por motivarme a luchar por mis sueños, por recordarme que el conocimiento es uno de los mayores tesoros y por hacerme creer siempre que soy capaz de lograr todo lo que me proponga.

A mis compañeros Jenny, Alexandra, Malory, Dayana, Alejandro, Derek y Jefferson, gracias por los aprendizajes y momentos compartidos que hicieron de esta etapa una experiencia inolvidable. Finalmente, expreso mi más profundo agradecimiento al Mgs. Guillermo Varela, por su compromiso, orientación y apoyo durante mi formación académica, dejando en mí valiosas enseñanzas y experiencias.

AGRADECIMIENTO

Expreso mi más sincero agradecimiento a la Universidad Técnica del Norte, institución que me brindó la oportunidad de crecer académica y personalmente a lo largo de esta importante etapa de mi vida.

Al Ing. Oscar Hernando Eraso Terán, PhD, director de esta investigación, por su guía, paciencia y compromiso durante la elaboración del presente trabajo. Agradezco sinceramente la oportunidad de haber adquirido conocimientos y experiencia profesional, los cuales han sido de gran importancia para mi desarrollo académico.

Al Ing. Hugo Vinicio Vallejos Álvarez, MSc, asesor de investigación, le agradezco de manera especial por su constante acompañamiento y apoyo durante las actividades de campo y el proceso de investigación. Su motivación y conocimientos fueron clave para llevar a cabo este trabajo con éxito.

Asimismo, expreso mi profundo agradecimiento a los docentes de la carrera de Ingeniería Forestal, por compartir sus experiencias y enseñanzas a lo largo de mi formación académica, motivándonos constantemente a superarnos tanto en el ámbito profesional como personal.

RESUMEN EJECUTIVO

El presente estudio analizó la importancia ecológica y cultural de *Hesperomeles obtusifolia*. Históricamente valorada por el uso de su madera en la elaboración de trompos; sin embargo, en la actualidad enfrenta una disminución de la población y la falta de información sobre su distribución real. El objetivo fue determinar la distribución actual y potencial de *Hesperomeles obtusifolia* en la zona andina del cantón Cotacachi, provincia de Imbabura, mediante el uso de herramientas (SIG) y modelamiento de distribución de especies con MaxEnt. Además, se determinó la relación de *Hesperomeles obtusifolia* con la vegetación asociada del área. Se incluyó la toma de coordenadas, se procesó la información espacial y se analizaron las variables bioclimáticas. Se registraron 65 individuos de la especie, distribuidos en cuatro parcelas localizadas en las comunidades de Morochos, San Luis de la Carbonería, El Morlán y la Reserva Ecológica Cotacachi Cayapas. El rango altitudinal oscila entre 2500 y 3550 msnm. Se desarrolló un modelo predictivo basado en 42 variables ambientales; entre los que destacaron la altitud, la temperatura media anual (8-14°C) y la precipitación anual (840-1080 mm). El modelo alcanzó un valor AUC (0,98) que indica un alto desempeño predictivo determinado por variables con mayor contribución como los sistemas productivos, unidad geopedológica y variables climáticas como la temperatura y precipitación. Además, se registraron 21 especies de flora asociada pertenecientes a 17 familias botánicas, destacándose *Oreopanax ecuadorensis* por su presencia recurrente. Los resultados representan una base técnica para la planificación de programas de restauración y conservación de una especie vinculada al Patrimonio Cultural Inmaterial del Ecuador.

Palabras clave: *Hesperomeles obtusifolia,* distribución potencial, MaxEnt, bosque andino, comportamiento ecológico, variables bioclimáticas

ABSTRACT

The present study analyzed the ecological and cultural importance of *Hesperomeles obtusifolia*. Historically valued for the use of its wood in the production of spinning tops; however, it currently faces a decrease in population and a lack of information on its real distribution. The objective was to determine the current and potential distribution of *Hesperomeles obtusifolia* in the Andean zone of the Cotacachi canton, Imbabura province, through the use of tools (GIS) and species distribution modeling with MaxEnt. In addition, the relationship of *Hesperomeles obtusifolia* with the associated vegetation of the area was determined. Coordinates were taken, spatial information was processed and bioclimatic variables were analyzed. 65 individuals of the species were recorded, distributed in four plots located in the communities of Morochos, San Luis de la Carbonería, El Morlán and the Cotacachi Cayapas Ecological Reserve. The altitudinal range ranges between 2500 and 3550 meters above sea level. A predictive model was developed based on 42 environmental variables; among which altitude, average annual temperature (8-14°C) and annual precipitation (840-1080 mm) stood out. The model reached an AUC value (0.98) that indicates a high predictive performance determined by variables with greater contribution such as production systems, geopedological unit and climatic variables such as temperature and precipitation. In addition, 21 species of associated flora belonging to 17 botanical families were recorded, with *Oreopanax ecuadorensis* standing out for its recurrent presence. The results represent a technical basis for the planning of restoration and conservation programs of a species linked to the Intangible Cultural Heritage of Ecuador.

Keywords: *Hesperomeles obtusifolia*, potential distribution, MaxEnt, Andean forest, ecological behavior, bioclimatic variables.

LISTA DE SIGLAS

SIG. Sistema de Información Geográfica.

DEM. Modelo Digital de Elevación.

GBIF. Global Biodiversity Information Facility.

AUC. Área Bajo la Curva.

FAO. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación.

UTM. Universal Transverse Mercator.

MAXENT. Máxima Entropía.

PDOT. Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

INTRODUCCIÓN 17

Problema de investigación. 17

Justificación 18

Objetivos 19

Objetivo General 19

Objetivos Específicos 19

Preguntas de investigación. 20

CAPÍTULO I 21

MARCO TEÓRICO 21

1.1 Bosques Nativos Andinos 21

1.2 Nicho ecológico 21

1.3 Distribución espacial 22

1.3.1 Definición distribución espacial 22

1.3.2 Factores que influyen en la distribución de especies 22

1.3.3 Análisis de distribución espacial 23

1.4 Modelo MaxEnt 23

1.5. Datos de entrada y validación del modelo 24

1.6 Integración a MaxEnt 26

1.6.1 Sistemas de Información Geográficas (SIG) 26

1.7 Biogeografía 26

1.7.1 Importancia de la biogeografía 26

1.7.2 Caracterización Biogeográfica de los Andes ecuatorianos 27

1.8 Descripción de la especie 27

1.8.1 Clasificación taxonómica 27

1.8.2 Características botánicas 27

1.8.3 Ecología, comportamiento e importancia cultural 28

CAPÍTULO II 30

MATERIALES Y MÉTODOS 30

2.1. Tipos de investigación 30

2.2. Ubicación del lugar 30

2.2.1. Política: 30

2.2.2. Geografía 31

2.2.3. Límites 32

2.3. Caracterización edafoclimática del lugar 33

2.3.1. Suelo 33

2.3.2. Clima 33

2.4. Materiales, equipos y software 34

2.5. Métodos, técnicas e instrumentos. 35

2.5.1. Universo-población. 35

2.5.2 Selección y registro 36

2.6 Trabajo desarrollado 36

2.6.1 Recolección de datos en campo de presencia de *Hesperomeles obtusifolia* ... 37

2.6.2 Obtención y procesamiento de información ambiental de la zona 38

2.6.3 Metodología para el modelamiento de especies forestales 39

2.6.4. Modelamiento de distribución potencial 41

2.7. Comportamiento ecológico 42

2.7.1. Toma de datos dasométricos 42

2.7.2 Toma de datos ecológicos 43

2.8. Variables de estudio 44

2.8.1 Distribución espacial actual de *Hesperomeles obtusifolia* 44

2.8.2 Comportamiento ecológico de las especies asociadas con *Hesperomeles obtusifolia* 45

CAPÍTULO III 47

RESULTADOS Y DISCUSIÓN 47

3.1. Variables bioclimáticas para el modelamiento 47

3.1.1. Distribución espacial 50

3.2. Comportamiento ecológico de *Hesperomeles obtusifolia* 53

3.2.1. Variables dasométricas 54

3.2.2. Especies asociadas 57

CAPÍTULO IV 60

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES 60

CONCLUSIONES 60

RECOMENDACIONES 61

Referencias Bibliográficas 62

ANEXOS 72

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 *Coordenadas planas de los sitios visitados en la zona andina del cantón Cotacachi (DATUM: UTM WGS84, ZONA 17 S).* 31

Tabla 2 *Materiales, equipos y software utilizados en la investigación.* 34

Tabla 3 *Diseño de las matrices para el registro de los datos primarios*..... 45

Tabla 4 *Contribución e importancia de permutación de las variables ambientales en el modelo MaxEnt para Hesperomeles obtusifolia en la zona andina del cantón Cotacachi*.. 47

Tabla 5 *Datos dasométricos de Hesperomeles obtusifolia*..... 54

Tabla 6 *Promedios de dimensiones anatómicas y peso de la madera de Hesperomeles obtusifolia según su estado de humedad.* 57

Tabla 7 *Flora asociada a Hesperomeles obtusifolia*..... 57

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 *Mapa de ubicación del área de estudio en la zona andina del cantón Cotacachi, Imbabura, Ecuador.*.....32

Figura 2 *Metodología para el modelamiento de especies forestales* 40

Figura 3 *Mapa de altitud Cotacachi*.....51

Figura 4 *Mapa de isoyetas de Cotacachi* 51

Figura 5 *Mapa de isotermas de Cotacachi*.....52

Figura 6 *Mapa de distribución Cotacachi*.....52

INTRODUCCIÓN

Problema de investigación.

- Problemática para investigar

La ausencia de información cartográfica sobre la distribución espacial de *Hesperomeles obtusifolia* limita la comprensión de sus patrones de presencia y afecta los ámbitos cultural, ambiental y socioeconómico del cantón Cotacachi. Este déficit representa un vacío técnico que limita la planificación de estrategias de conservación y también la implementación de programas de monitoreo a largo plazo.

Hesperomeles obtusifolia es el componente fundamental del "Desafío del Trompo", manifestación cultural incorporada a la Lista Representativa del Patrimonio Cultural Inmaterial del Ecuador a través del Acuerdo N° MCYP-MCYP-2024-0065-A del Ministerio de Cultura y Patrimonio (2024). No obstante, con el paso del tiempo, la especie ha disminuido en el territorio. Esta situación se ve agravada por su lento crecimiento que puede tardar aproximadamente 40 años en alcanzar una altura de 5 metros, así como por la expansión de la frontera agrícola y la pérdida progresiva de cobertura vegetal nativa y por la presión de extracción de la madera para la fabricación de trompos y herramientas agrícolas.

La fragmentación del hábitat natural, impulsada por la expansión agrícola y vial (Young, 1994), ha provocado una reducción progresiva de las poblaciones de diversas especies. La identificación de áreas prioritarias para la conservación y reintroducción de *Hesperomeles obtusifolia* en el cantón Cotacachi, se ha visto limitada por la falta de investigaciones sobre sus patrones de distribución espacial (Guisan et al., 2013).

Desde el enfoque ecológico, *Hesperomeles obtusifolia* contribuye a la estabilización de laderas y a la regulación hídrica. La pérdida de esta especie podría alterar la dinámica de los suelos de páramo y montaña, lo que afectaría a la biodiversidad y los servicios ecosistémicos andinos. Esta investigación generó información científica sobre la distribución espacial y el comportamiento ecológico de *Hesperomeles obtusifolia,* con el fin de aportar insumos para la toma de decisiones orientadas a su conservación, así como ampliar el conocimiento sobre especies arbóreas nativas poco estudiadas en los Andes ecuatorianos.

- Formulación del problema de investigación.

  ¿Cómo se presenta la distribución espacial, potencial y el comportamiento ecológico de *Hesperomeles obtusifolia* dentro de la zona andina del cantón Cotacachi?

Justificación

Hesperomeles obtusifolia, conocida localmente como cerote, posee un valor multidimensional que abarca aspectos ecológicos, medicinales, económicos y culturales. En el ámbito ecológico, esta especie contribuye a la estabilización de laderas, la regulación hídrica y brinda refugio a diversas especies de fauna. En la medicina ancestral, ha sido utilizada para aliviar dolores estomacales y otros usos tradicionales. Además, su madera se emplea en la fabricación de herramientas agrícolas como palas, estacas y yugos. A esto se suma su importancia cultural, ya que la madera de *Hesperomeles obtusifolia* se emplea de forma tradicional en el tallado de trompos para el "Desafío del Trompo", un juego que forma parte del Patrimonio Cultural Inmaterial del Ecuador (Cevallos et al., 2017).

No obstante, la escasa información sobre la distribución espacial de *Hesperomeles obtusifolia* dificulta la planificación de medidas de conservación. Por ello, esta investigación aporta una base técnica dirigida a los Gobiernos Autónomos Descentralizados (GAD), que

facilitará el diseño de políticas ambientales y planes de manejo a largo plazo. Asimismo, la identificación de áreas con condiciones adecuadas para la especie permitirá orientar acciones de manejo y restauración que aseguren la supervivencia de la especie y promuevan un uso sostenible del territorio. La pérdida de esta especie podría afectar las prácticas culturales asociadas al trompo, actividad tradicional que se realiza durante la temporada de finados. Por ello, los principales beneficiarios del estudio son las comunidades rurales que mantienen la tradición artesanal del trompo, asegurando su continuidad cultural.

A nivel institucional, el GAD de Cotacachi contará con insumos técnicos que fortalezcan y mejoren sus planes de ordenamiento territorial. Para la comunidad científica, este estudio contribuye a reducir la falta de información sobre la distribución de una especie andina poco estudiada, abriendo nuevas oportunidades para investigaciones relacionadas con la ecología y el manejo de bosques.

Objetivos

Objetivo General

Determinar la distribución espacial actual y potencial, así como el comportamiento ecológico de *Hesperomeles obtusifolia* (Pers) Lindl., en la zona andina del cantón Cotacachi.

Objetivos Específicos

- Modelar la distribución espacial actual y potencial de *Hesperomeles obtusifolia* (Pers) Lindl en la zona andina del cantón Cotacachi mediante herramientas de SIG y el algoritmo MaxEnt.
- Caracterizar el comportamiento ecológico de *Hesperomeles obtusifolia* y su interacción con las especies de flora asociadas en los ecosistemas andinos.

Preguntas de investigación.

¿Cuál es la distribución espacial actual y potencial de *Hesperomeles obtusifolia* en el cantón Cotacachi?

¿Qué patrón de comportamiento ecológico presenta *Hesperomeles obtusifolia* en relación con la flora asociada en los ecosistemas andinos del cantón Cotacachi?

CAPÍTULO I

MARCO TEÓRICO

1.1 Bosques Nativos Andinos

Los bosques nativos andinos con ecosistemas de alta biodiversidad ubicados entre los 1000 y 4000 msnm son esenciales para el mantenimiento de la biodiversidad y el equilibrio ecológico regional. Según Cuesta et al. (2017), estos bosques juegan un papel fundamental en la conservación al albergar una alta tasa de endemismo. Young (2009) menciona que su distribución está estrechamente vinculada a factores biogeográficos, como los gradientes altitudinales y climáticas. Dangles et al. (2013) destacan la importancia ecológica frente a las crecientes amenazas generadas por la deforestación y la pérdida de hábitat.

La importancia de los bosques radica en la diversidad de condiciones ambientales, físicas y geográficas que presentan. Estos ecosistemas actúan como reguladores hídricos y aportan belleza escénica al paisaje. Su recuperación favorece la conectividad ecológica y contribuye a la mitigación del cambio climático, debido a que los bosques andinos maduros actúan como sumideros de carbono de importancia global (Duque et al., 2021; Saatchi et al., 2011). Asimismo, el carbono orgánico presente en el suelo constituye un componente crítico que podría verse afectado por el calentamiento climático (Nottingham et al., 2015). En este sentido, los bosques deben analizarse desde tres perspectivas clave: la ecológica, la social y la cultural (Fontaine, 2023).

1.2 Nicho ecológico

El concepto de nicho ecológico fue introducido por Grinnell (1917) como el conjunto de condiciones ambientales que permiten la existencia de una especie. Hutchinson (1957)

amplió el concepto de nicho al diferenciar entre el nicho fundamental, determinado por las condiciones abióticas en las que una especie puede vivir, y el nicho realizado, limitado por interacciones bióticas como la depredación y la competencia. Posteriormente, Soberón y Peterson (2005) unieron estas ideas en los modelos de distribución de especies, que sirven como base teórica para el software MaxEnt. Para *Hesperomeles obtusifolia*, entender su nicho ecológico es clave, ya que esta especie ayuda a estabilizar el suelo y a mantener la biodiversidad en los bosques montanos andinos (Cuesta et al., 2017).

1.3 Distribución espacial

1.3.1 Definición distribución espacial

Los patrones de distribución espacial de las especies en bosques constituyen un insumo clave para la planificación de estrategias de conservación de la biodiversidad (Larrieu et al., 2018). En los Andes tropicales, la distribución de la vegetación está asociada a un gradiente altitudinal, lo que requiere un análisis espacial con múltiples variables ambientales (Gentry, 1982). Estos patrones dependen de la interacción entre factores abióticos como la temperatura, precipitación, altitud y tipo de suelo y procesos bióticos como la competencia, dispersión y la facilitación, los cuales determinan la presencia, abundancia y distribución de las especies (Whittaker, 1975; Pasinelli et al., 2001).

1.3.2 Factores que influyen en la distribución de especies

La distribución de especies, tanto vegetales como animales, depende de una variedad de factores ambientales y espaciales. Peña et al. (2010) indican que las variables espaciales pueden influir en la distribución de las especies más que las variables ambientales. En este contexto, la presencia o ausencia de especies en un territorio resulta de la interacción entre factores biogeográficos, fisiológicos y ecológicos, que condicionan su establecimiento y

permanencia de un determinado hábitat (Maciel-Mata et al., 2015). En este sentido, Londoño-Murcia y Sánchez-Cordero (2011) destacan que, en Ecuador, al menos el 30% de un área intervenida alberga alrededor de 50 especies amenazadas, lo que evidencia la importancia de implementar estrategias de conservación orientadas a la protección de la biodiversidad.

1.3.3 Análisis de distribución espacial

El análisis de la distribución espacial de las especies permite identificar cómo se organizan dentro del espacio geográfico, pudiendo presentarse en patrones agregados, aleatorios o uniformes. Estos patrones se relacionan con procesos ecológicos como la dispersión y la heterogeneidad del paisaje, los cuales influyen en la presencia de las especies dentro del territorio. Asimismo, factores como la accesibilidad del terreno pueden modificar la distribución de las poblaciones (Peña et al., 2010). En este sentido, los modelos de distribución de especies representan herramientas importantes para analizar y predecir áreas potenciales de presencia mediante la relación entre los registros de ocurrencia y las variables ambientales (Guisan & Zimmermann, 2000).

1.4 Modelo MaxEnt

MaxEnt es un algoritmo de modelado de distribución de especies basado en el principio de máxima entropía, que permite estimar la idoneidad geográfica a partir de registros de presencia y variables ambientales. Su capacidad para generar predicciones de alta precisión, incluso con tamaños muestrales reducidos, ha favorecido su consolidación como una de las herramientas más empleadas en la ecología de la conservación (Phillips et al., 2006; Phillips & Dudík, 2008).

Según Elith y Leathwick (2009), MaxEnt evalúa la distribución de especies en el espacio y tiempo, localizando áreas con condiciones ambientales favorables para su

desarrollo. Por su parte, Merow et al. (2013) señalan que la selección adecuada de las variables ambientales es importante para garantizar la eficacia y robustez del modelo. Los Species Distribution Models (SDM) se han utilizado en diversos estudios ecológicos, estos son prescindibles para evaluar el impacto del cambio ambiental, identificar áreas prioritarias de conservación y determinar sitios aptos para la introducción de especies (Franklin, 2010).

Existen varias técnicas para modelar la distribución de especies, adaptadas a diferentes tipos de información. Algunos métodos, como los Splines de Regresión Adaptativa Multivariante (MARS) y los Modelos Lineales Generalizados (GLM), requieren datos de ausencia y presencia. Otros métodos como el Algoritmo Genético para la Generación de Reglas (GARP), y el modelo de Máxima Entropía (MaxEnt) dependen únicamente de registros de presencia. A partir de estos puntos, el modelo identifica de manera independiente las áreas de baja, media y alta idoneidad. En este contexto, MaxEnt ha demostrado ser ampliamente utilizado debido a su implementación rápida y sencilla, así como a la solidez de sus fundamentos teóricos (Achu et al., 2023).

1.5. Datos de entrada y validación del modelo

Los datos de entrada utilizados para el modelamiento corresponden a registros georreferenciados de presencia la especie, los cuales fueron obtenidos a partir de visitas de trabajo de campo. Asimismo, se incorporaron variables ambientales como temperatura, precipitación y altitud, las cuales influyen directamente en la distribución de especies. Estos datos deben ser representativos del área de estudio, ya que permiten evidenciar la distribución real de las especies (Elith et al., 2011; Hijmans et al., 2017).

Además, las variables ambientales empleadas en el modelo deben ajustarse a la escala espacial y temporal de la investigación. Bases de datos globales como WorldClim

proporcionan variables bioclimáticas con una resolución de 30 segundos de arco (aproximadamente 1 km). Sin embargo, esta resolución suele quedarse corta en zonas de topografía compleja, como los ecosistemas andinos, donde las condiciones ambientales cambian a escalas más pequeñas. Por ello, la selección adecuada de las variables ambientales y el ajuste de la escala espacial de análisis son fundamentales para generar un modelo predictivo preciso. Peterson et al. (2011) señalan que la incorporación de estas variables incrementa significativamente la capacidad predictiva del modelo, permitiendo identificar con mayor exactitud las áreas de distribución potencial. La depuración de datos permite mejorar la precisión del modelo al reducir posibles errores en la información utilizada. Es necesario limpiar y estandarizar tanto los registros de presencia como las variables ambientales para evitar sesgos que puedan distorsionar las predicciones (Guillera-Arroita et al., 2015).

Asimismo, la validación del modelo es clave para comprobar su efectividad. Para ello, se emplea el cálculo del Área Bajo la Curva ROC (AUC) el cual mide la capacidad del modelo para diferenciar entre presencias y ausencias. Un valor AUC igual a 0,5 indica una predicción aleatoria sin capacidad discriminativa; valores entre 0,5 y 0,7 corresponden a modelos de baja precisión; entre 0,7 y 0,9 indican una precisión aceptable; y valores superiores a 0,9 representan un desempeño excelente del modelo (Swets, 1988; Phillips et al., 2006).

1.6 Integración a MaxEnt

1.6.1 Sistemas de Información Geográficas (SIG)

Los Sistemas de Información Geográfica (SIG) se enfocan en la construcción de mapas de riqueza de especies y endemismos, lo que permite priorizar áreas de protección y evaluar redes de áreas protegidas existentes (Peterson, 2001, citado por Fierro, 2012). Herramientas como el NDVI derivado de satélites permiten evaluar respuestas ecológicas a cambios ambientales (Pettorelli et al., 2005). Además, permite analizar procesos relacionados con la conservación, como la identificación de hábitats adecuados para especies de interés, predicciones del cambio climático, evaluación del estatus de conservación de especies poco conocidas.

1.7 Biogeografía

La biogeografía es la ciencia que estudia los patrones de distribución de la biota en el espacio y el tiempo. Según Llorente & Morrone (2001), analiza la distribución de entidades ecológicas o taxonómicas en el espacio, sintetizando expresiones evolutivas de linajes, especies y biotas moldeadas por fuerzas actuales e históricas. Por su parte, Wallace (1876) estableció los fundamentos de la biogeografía moderna al delimitar las principales regiones faunísticas del planeta y reconocer la influencia de los procesos evolutivos y la configuración geográfica en la diversidad biológica.

1.7.1 Importancia de la biogeografía

La biogeografía juega un papel crucial en la comprensión de cómo las especies se distribuyen y se adaptan a sus ambientes. Esta disciplina analiza cómo factores geográficos y climáticos afectan a las especies, analizando patrones de distribución y de diversidad. En el campo de la conservación permite identificar regiones clave para la protección de la

biodiversidad y anticipar los efectos del cambio climático sobre los ecosistemas (Brown, 2014).

1.7.2 Caracterización Biogeográfica de los Andes ecuatorianos

Los Andes ecuatorianos se caracterizan por su alta biodiversidad, la cual está influenciada por su variada topografía y las condiciones climáticas, factores que favorecen la formación de diversos hábitats. Según Pitman et al. (2001), esta región alberga numerosas especies endémicas, debido a la amplia diversidad de altitudes y microclimas presentes. Por lo cual, es fundamental para la conservación, ya que permite identificar las áreas más vulnerables a los efectos del cambio climático y otras amenazas ambientales.

1.8 Descripción de la especie

1.8.1 Clasificación taxonómica

Familia: Rosaceae

Género: *Hesperomeles*

Especie: *Hesperomeles obtusifolia*

Nombre científico: *Hesperomeles obtusifolia* (Pers) Lindl.

Nombre común: Cerote (Trópicos, 2015). Esta nomenclatura es consistente con el Catálogo de Plantas Vasculares del Ecuador (Jorgensen & León-Yánez, 1999) y con las descripciones de especies arbóreas locales (Little & Dixon, 1969).

1.8.2 Características botánicas

Esta especie presenta una base de hojas cuneada que se extiende de manera decurrente a lo largo del peciolo. Los márgenes de las hojas son crenado-dentados, y las ramitas suelen ser inermes o contar con una espina en su extremo. Las hojas varían en tamaño de 5 a 20 mm

y pueden tener formas obovadas, oblanceoladas o elípticas. El envés de las hojas es más claro y menos texturizado, mientras que el haz es brillante y puede ser liso o tener una textura rugosa-reticulada (Trópicos, 2015).

1.8.3 Ecología, comportamiento e importancia cultural

Hesperomeles obtusifolia se desarrolla en bosques montanos, caracterizados por ambientes templados y con altos niveles de humedad. La presencia de esta especie se relaciona con ambientes que presentan condiciones adecuadas de conservación, por lo que representa una referencia para evaluar las condiciones de los ecosistemas forestales. Desde el punto de vista ecológico, las especies forestales presentan diversos mecanismos de adaptación al medio ambiente, los cuales influyen en su desarrollo, reproducción y permanencia dentro de un ecosistema determinado (Smith et al., 2016). Factores como la disponibilidad de agua, la competencia por nutrientes y las variaciones climáticas inciden en su comportamiento ecológico, determinando su distribución (Grime, 2001).

Las especies dentro de un ecosistema forestal interactúan de múltiples maneras, generando relaciones que pueden ser tanto competitivas como beneficiosas (Callaway & Walker, 1997). Algunas compiten por recursos como la luz, el agua y los nutrientes, mientras que otras mejoran las condiciones del suelo o proporcionan refugio, facilitando la supervivencia de especies asociadas (Tilman, 1997). Estas interacciones influyen en la composición y la estabilidad de los ecosistemas, por lo que su análisis resulta indispensable para orientar un manejo sostenible de los bosques.

Hesperomeles obtusifolia presenta importancia por sus usos alimenticios y medicinales. En algunas comunidades andinas se han reportado usos relacionados con el consumo de frutos y prácticas medicinales tradicionales, donde los habitantes atribuyen

propiedades antiinflamatorias y antioxidantes (Ulquiango & Méndez, 2024). Ecológicamente, *Hesperomeles obtusifolia* forma parte de los ecosistemas andinos, donde se relaciona con la vegetación y las interacciones ecológicas del bosque. Su madera se utiliza en la elaboración de artesanías y herramientas, generando ingresos para familias rurales. Entre los usos tradicionales destaca el tallado de trompos, una práctica artesanal que contribuye a la preservación de manifestaciones culturales y al fortalecimiento de la identidad local.

CAPÍTULO II

MATERIALES Y MÉTODOS

2.1. Tipos de investigación

La investigación se desarrolló bajo un enfoque mixto, integrando análisis cualitativos y cuantitativos. La parte cualitativa permitió describir las características ecológicas de *Hesperomeles obtusifolia* y su relación con la flora asociada. El análisis cuantitativo permitió evaluar la distribución espacial de la especie mediante el uso de Sistemas de Información Geográfica (SIG) y el modelado predictivo con MaxEnt, integrando los registros de presencia con variables ambientales para determinar su distribución potencial.

Según Hernández Sampieri et al. (2014), el enfoque exploratorio es adecuado para el estudio de fenómenos poco investigados o con información limitada. En este sentido, dicho enfoque permitió analizar la problemática de *Hesperomeles obtusifolia*, especie de importancia cultural y ecológica cuya distribución y comportamiento ecológico no han sido descritas con precisión. La investigación presenta un diseño no experimental, debido a que no existió manipulación de variables, y transversal, ya que el análisis del comportamiento ecológico de la especie se realizó en un periodo específico. El estudio se desarrolló en campo mediante visitas a diversas comunidades del cantón Cotacachi, donde se realizó la recolección de datos primarios.

2.2. Ubicación del lugar

2.2.1. Política:

El estudio se llevó a cabo en la zona andina del cantón Cotacachi, provincia de Imbabura, abarcando las parroquias rurales de Imantag, Quiroga y Apuela, así como la comunidad rural de Morochos, parroquia San Francisco.

2.2.2. Geografía

El área de estudio se ubica bajo el sistema de coordenadas proyectadas UTM, datum WGS84, Zona 17 Sur. La zona presenta un rango altitudinal comprendido entre los 2500 y 3800 msnm, abarcando una extensión geográfica delimitada por las siguientes coordenadas: (Izquierda: 691 993,48; Derecha: 810 013,89) m Este y (Inferior: 10 022 535,30; Superior: 10 065 004,85) m Norte.

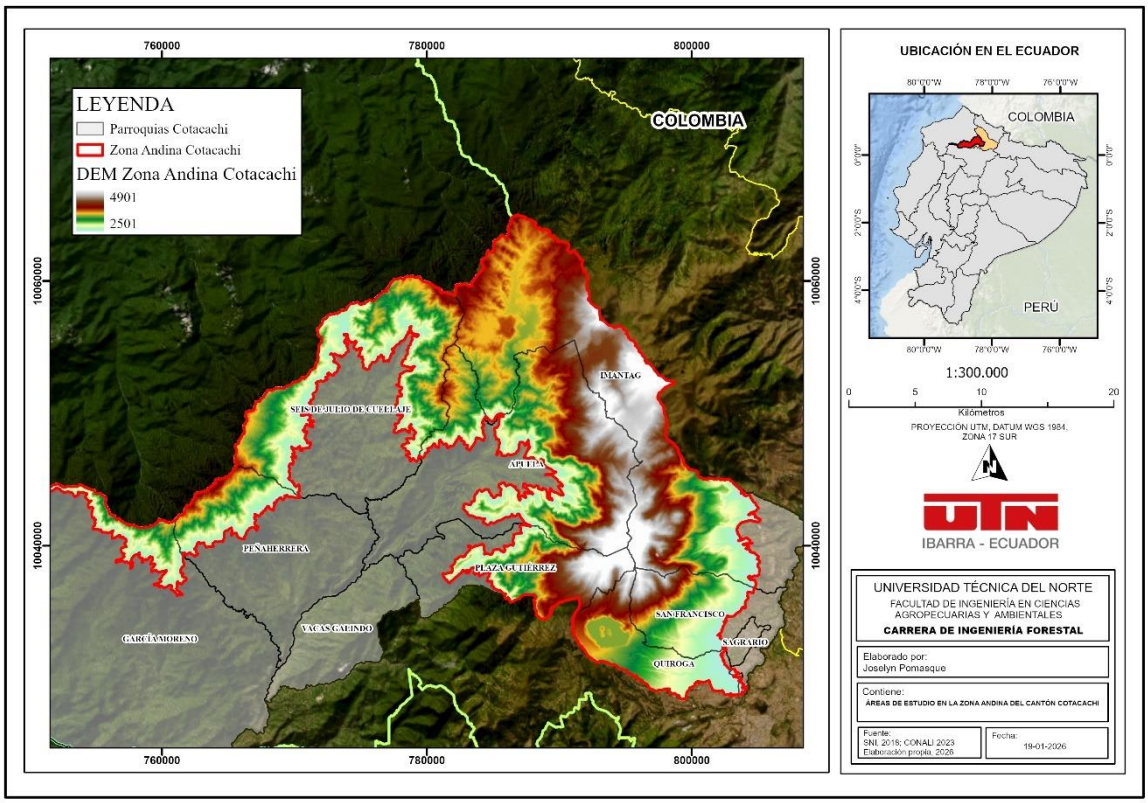
Tabla 1

Coordenadas planas de los sitios visitados en la zona andina del cantón Cotacachi (DATUM: UTM WGS84, ZONA 17 S).

LUGAR	COORDENADA X	COORDENADA Y	ALTITUD(msnm)
Comunidad Morochos	796864	10034861	3323
Reserva Cotacachi Cayapas	795371	10033097	3135
San Luis de la Carbonería	800475	10039651	2923
Comunidad El Morlán	799663	10038931	3100

Figura 1

Mapa de ubicación del área de estudio en la zona andina del cantón Cotacachi, Imbabura, Ecuador.



Fuente: Elaboración propia con base en cartografía del IGM (2020).

2.2.3. Límites

El área limita al norte con el cantón Urcuquí, al sur con el cantón Otavalo, al este con el cantón Antonio Ante y al oeste con las parroquias Apuela y la Plaza Gutiérrez del cantón Cotacachi.

2.3. Caracterización edafoclimática del lugar

2.3.1. Suelo

Los suelos del cantón Cotacachi son de origen volcánico y presentan características asociadas a la presencia de lavas andesíticas y materiales piroclásticos, con predominio de texturas arcillosas. De acuerdo con el Departamento de Agricultura de los Estados Unidos y el Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal de Cotacachi (2023). Estos suelos presentan una buena capacidad para retener humedad y materia orgánica, lo que beneficia al crecimiento de la vegetación. Sin embargo, la mayor parte del territorio tienen pendientes. El pH de los suelos oscila entre neutro a alcalino (7-8).

2.3.2. Clima

La zona andina del cantón Cotacachi, en la provincia de Imbabura, presenta un gradiente altitudinal que varía entre 2500 y 3800 msnm, lo que determina condiciones climáticas características de los ecosistemas de montaña. En estas condiciones, la temperatura media anual oscila entre 8 °C y 16 °C.

La precipitación anual varía entre 500 y 1000 mm. La humedad relativa varía a lo largo del año, en un mínimo de 72 % en septiembre y un valor máximo de 85 % en noviembre. La temporada lluviosa va desde noviembre hasta mayo, siendo abril el mes más húmedo, con una precipitación promedio de 231 mm. Por lo contrario, el periodo seco se da entre junio y noviembre, siendo agosto el mes con menor lluvia con aproximadamente 38 mm (Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal de Cotacachi, 2015).

2.4. Materiales, equipos y software

Para el desarrollo de la investigación se articuló el uso de herramientas de campo y software especializado, garantizando la rigurosidad en la captura y análisis de la información.

La georreferenciación de los individuos se realizó mediante un dispositivo móvil con GPS y la aplicación KoboCollect, lo que permitió obtener coordenadas y registrar fotográficamente el entorno *in situ*. Posteriormente, los datos se sincronizaron con KoBoToolbox para asegurar un procesamiento confiable.

Durante la fase de gabinete se aplicó el modelo MaxEnt para analizar la distribución de *Hesperomeles obtusifolia*. El análisis se realizó a partir de registros de presencia y variables ambientales seleccionadas, con esta información, el modelo estimó las áreas con mayor idoneidad ambiental para la especie. Los resultados del modelado fueron procesados en ArcGIS Pro, donde se elaboraron mapas de distribución para representar espacialmente la información generada. La integración de estos recursos tecnológicos fue determinante para evaluar con precisión la situación de *Hesperomeles obtusifolia* en la zona andina de Cotacachi (Tabla 2).

Tabla 2

Materiales, equipos y software utilizados en la investigación.

Materiales de campo	**Equipos**	**Software**
Bolsas de yute	Celular móvil con GPS	ArcGIS Pro 3

Libreta de campo	Computador	MaxEnt versión 3.4.4 (Software libre)
Tijera de mano		Microsoft Office 365
Piola		KoBoToolbox (KoboCollect)
Cartones		
Papel periódico		
Cinta adhesiva		
Alcohol		
Lámina dúplex		
Prensadora		
Cinta métrica		

2.5. Métodos, técnicas e instrumentos.

2.5.1. Universo-población.

El universo de estudio está delimitado geográficamente por la zona andina del cantón Cotacachi, la cual abarca una extensión aproximada de 63 234 ha, comprendiendo las parroquias de Imantag, Quiroga, Apuela, San Francisco, Plaza Gutiérrez.

La población analizada está conformada por los registros de presencia de la especie dentro del área de estudio, los cuales corresponden a un total de 65 puntos georreferenciados empleados en el modelamiento de su distribución potencial.

Este tamaño de muestra (n = 65) se considera adecuado para la aplicación del modelo MaxEnt, debido a que diversos estudios han demostrado que este algoritmo mantiene un buen desempeño incluso con un número reducido de registros de presencia (Phillips et al., 2006; Pearson et al., 2007). Sin embargo, considerando que tamaños muestrales pequeños pueden incrementar el riesgo de sobreajuste, se controló la autocorrelación espacial y el posible sesgo de muestreo mediante la depuración de registros y la selección de puntos espacialmente independientes, con el fin de mejorar la robustez y la capacidad predictiva del modelo.

2.5.2 Selección y registro

Se delimitó la zona de estudio en la zona andina del cantón, abarcando las parroquias de Quiroga, Imantag, San Francisco que presentan una altitud superior a 2500 msnm.

En cada individuo seleccionado se registraron datos de ubicación, dasométricos y ecológicos, conforme a lo mencionado anteriormente. La altura total de los individuos se evaluó mediante un clinómetro forestal, midiendo desde la base del fuste hasta el punto más alto de la copa, expresándose en metros (m). Esta variable fue registrada una sola vez por individuo, dado que resultó esencial para la evaluación del comportamiento ecológico de *Hesperomeles obtusifolia* (Bernard, 2017).

2.6 Trabajo desarrollado

Objetivo 1

2.6.1 Recolección de datos en campo de presencia de *Hesperomeles obtusifolia*

El trabajo de campo se desarrolló en la zona andina del cantón, abarcando diferentes localidades claves. La primera salida se inició en la comunidad Morochos, perteneciente a la parroquia San Francisco. Posteriormente, se realizó levantamiento de datos en las comunidades de El Morlán y San Luis de la Carbonería, ubicadas en la parroquia de Imantag, así como en la Reserva Ecológica Cotacachi-Cayapas, en la parroquia de Quiroga. Para la recolección de datos se tomó como referencia la información de la base de datos de Global Biodiversity Information Facility (GBIF), la cual proporcionó coordenadas de presencia registradas históricamente de *Hesperomeles obtusifolia*, se verificó en campo la existencia de la especie en las ubicaciones indicadas por GBIF. Además, se visitó sitios sugeridos por el técnico del Municipio de Cotacachi, quien conocía los reportes de presencia de cerote en el área de estudio.

Durante el trabajo de campo se empleó la aplicación KoBoCollect para registrar y organizar los datos de presencia de *Hesperomeles obtusifolia*:

- Coordenadas geográficas
- Altitud msnm
- Fotografías
- DAP
- Altura total
- Flora asociada

2.6.2 Obtención y procesamiento de información ambiental de la zona

Para el proceso de modelado, se descargaron y procesaron 42 variables ambientales (Anexo 1) las cuales sirvieron como insumo principal. El proceso de modelado inició con la recopilación y descarga de datos, que incluyeron variables ambientales como bioclimáticas, topográficas, edáficas, cobertura y el uso del suelo, así como registros de presencia de *Hesperomeles obtusifolia* según lo detallado en apartado anterior.

La arquitectura del modelo se fundamentó en la integración de 42 predictores, categorizados en cuatro grupos principales: 26 variables bioclimáticas, 6 topográficas (derivadas de DEM), 8 edáficas y 2 vinculadas a la cobertura vegetal y unidades geopedológicas.

2.6.3.1. Variables bioclimáticas

Los datos climáticos se obtuvieron de la plataforma WorldClim (versión 2.1) https://www.worldclim.org/data/worldclim21.html la cual proporciona promedios mensuales de variables climáticas a escala global, como temperatura, radiación solar, velocidad del viento y humedad. Estas variables son fundamentales para la modelación de la distribución de especies, debido a su influencia en la determinación de los rangos de hábitat y los patrones de adaptación ecológica (Fick & Hijmans, 2017; Hijmans et al., 2005). Las capas utilizadas presentan una resolución espacial original de 30 segundos de arco (aproximadamente 1 km).

2.6.3.2. Variables topográficas

Los datos topográficos (pendiente, dirección del flujo, orientación) fueron derivados a partir de un Modelo Digital de Elevación (DEM) obtenido del sensor ALOS PALSAR, con

una resolución espacial de 12,5 m, disponible a través de la plataforma Alaska Satellite Facility (ASF) https://search.asf.alaska.edu/),

2.6.3.3. Variables edáficas

Fueron obtenidas de la plataforma SoilGrids, que ofrece una resolución espacial de 250 metros que incluye variables como textura del suelo, profundidad, pH, materia orgánica y capacidad de retención de agua. Estos datos fueron descargados a través de la plataforma web https://soilgrids.org/.

2.6.3.4. SIG Tierras

- **Cobertura y uso de la tierra**

La información fue extraída directamente de SIG Tierras, quienes generaron esta delimitación de cobertura y uso de la tierra para todo el Ecuador http://www.sigtierras.gob.ec/.

- **Unidades Geopedológicas**

Los datos obtenidos provinieron del Geoportal Sistema de SIG Tierras (SIG), el cual proporcionó capas de información sobre cultivos, suelos agrícolas, uso de la tierra y agroecología, temas esenciales para el análisis de producción agrícola. Los datos fueron descargados desde http://www.sigtierras.gob.ec/. para el cantón Cotacachi.

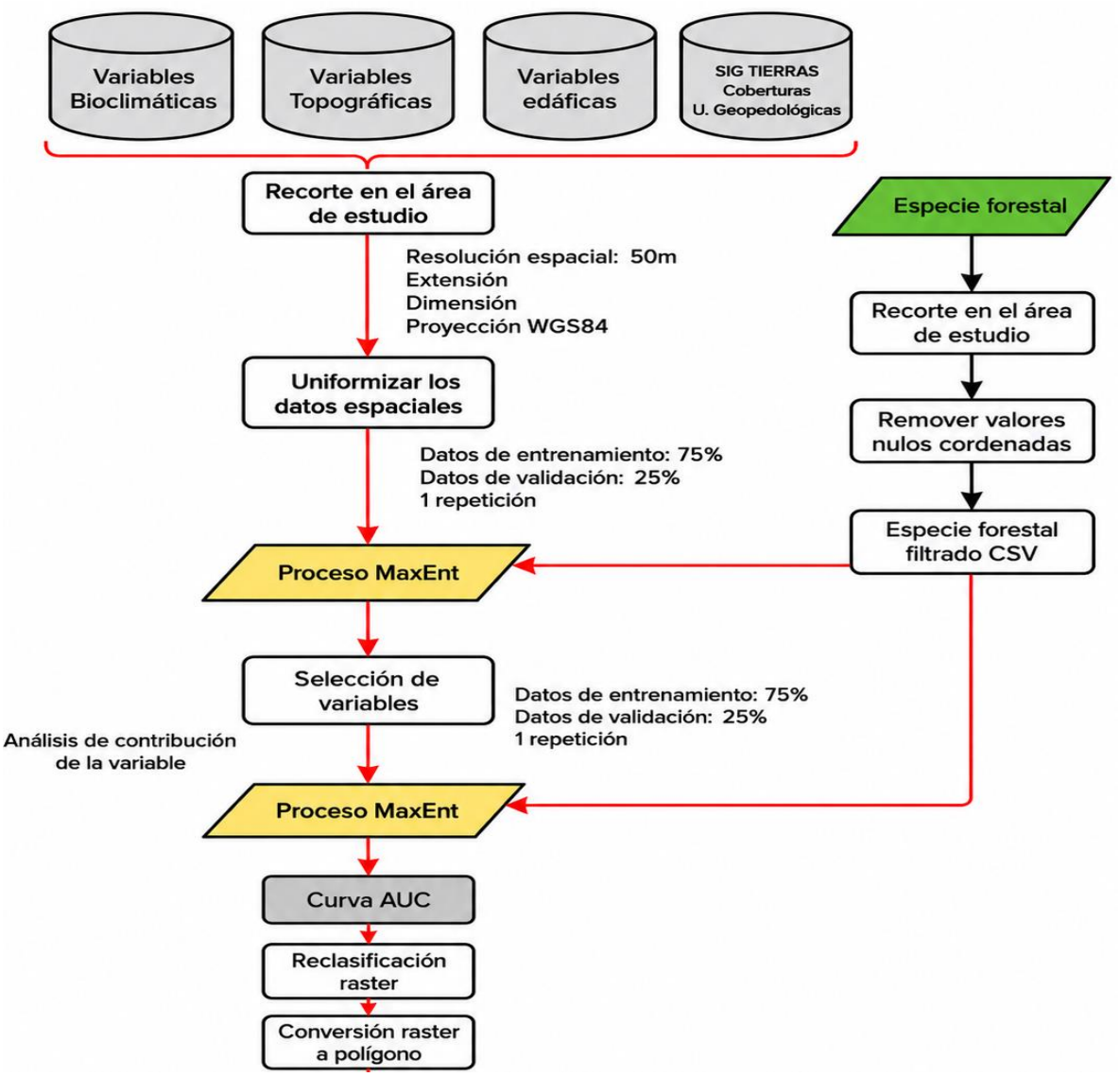
2.6.3 Metodología para el modelamiento de especies forestales

Estas 42 variables posteriormente fueron remuestreadas a una resolución de 50 m mediante el método de interpolación bilineal, con el fin de ajustarlas a la escala de análisis del estudio mediante un geoproceso espacial que incluyó el remuestreo (resampling), el

recorte mediante máscara (Extract by Mask) y la alineación de celdas (Snap Raster), con el fin de uniformizar los datos espaciales para asegurar la coherencia espacial entre capas y la validez del modelo (Figura 2).

Figura 2

Metodología para el modelamiento de especies forestales



2.6.4. Modelamiento de distribución potencial

El modelamiento se desarrolló mediante el software MaxEnt versión 3.4.4 utilizando 65 registros de presencia como datos de entrada. Estos datos se dividieron en un 75% para entrenamiento del modelo y el 25% para su validación. Además, se definió un máximo de 500 iteraciones y un multiplicador de regularización de 1. La valoración del modelo se llevó a cabo mediante el cálculo del Área Bajo la Curva (AUC), donde indican que valores de AUC cercanos a 1 indican un modelo válido y con buen ajuste, mientras que valores inferiores a 0,5 corresponden a modelos no significativos (Phillips et al., 2006).

A pesar del uso de un tamaño de muestra pequeño (65 registros), este tipo de modelado ha demostrado ser sólido siempre que los datos sean representativos del área de estudio. En el preprocesamiento, se diferenciaron los datos continuos (climáticos, topográficos, edáficos) de los categóricos (cobertura y geopedología) y se depuró la base de datos eliminando valores nulos o atípicos que pudieran introducir sesgos en el modelo.

Se realizó una primera corrida en MaxEnt con el fin de evaluar la importancia individual de cada variable ambiental dentro del modelo, identificando aquellas con mayor influencia en la predicción de la distribución de *Hesperomeles obtusifolia*. Posteriormente, se seleccionaron las variables con mayor relevancia y se excluyeron las de contribución nula o redundante, con el fin de reducir la complejidad del modelo y evitar la incorporación de información repetida. Finalmente, las variables seleccionadas se utilizaron en una segunda corrida en MaxEnt (Anexo 2), la cual permitió generar un modelo más preciso y con mejor capacidad de ajuste.

- **Sensibilidad ambiental y curvas de respuesta**

Se analizaron las curvas de respuesta para interpretar la relación entre las variables ambientales y la probabilidad de presencia de la especie, permitiendo caracterizar su comportamiento ecológico.

- **Zonificación probabilística y priorización**

Los mapas de idoneidad permitieron clasificar el área de estudio según su aptitud ecológica, facilitando la identificación de zonas prioritarias para la conservación.

Objetivo 2

2.7. Comportamiento ecológico

El comportamiento ecológico se analizó considerando las características dasométricas de una especie en su entorno natural, incluyendo su capacidad de adaptación y sus estrategias competitivas. Ashton & Kelty (2018) subrayan la importancia de estudiar estas características, especialmente en especies nativas, como un factor clave para el éxito en proyectos de restauración ecológica y reforestación.

2.7.1. Toma de datos dasométricos

Para este proceso, se consideraron variables como la altitud, el DAP (diámetro a la altura del pecho) a 1,30 m de altura, así como la estimación de la edad de cada individuo, apoyándose en el conocimiento local de la comunidad. Además, se describió el comportamiento entre las diferentes especies presentes en los ecosistemas del cantón Cotacachi.

2.7.2 Toma de datos ecológicos

El protocolo de recolección botánica se desarrolló siguiendo estándares técnicos que garantizaron la integridad y el valor científico de los especímenes obtenidos. En cada sitio de muestreo se recolectaron ramas representativas utilizando herramientas de poda previamente desinfectadas, priorizando material fértil (inflorescencias y/o frutos) para facilitar la posterior identificación taxonómica. Durante la fase de campo, las muestras recolectadas fueron prensadas en papel periódico y conservadas con alcohol, lo que permitió su almacenamiento temporal y un transporte adecuado. Este procedimiento ayudó a mantener las condiciones de las muestras durante el traslado, evitando la alteración de sus características morfológicas.

Posteriormente, el material botánico fue trasladado al laboratorio de la Universidad Técnica del Norte, donde se realizó el curado y montaje sobre cartón dúplex, según los protocolos para muestras de herbario. La identificación taxonómica final se llevó a cabo mediante la comparación con muestras de referencia y el uso de claves especializadas, considerando caracteres diagnósticos como:

- Inflorescencia
- Frutos
- Tipo de corteza
- Forma y tipo de hojas

Una vez comprobada la identidad de la especie, se elaboraron las etiquetas con la información de pasaporte (coordenadas, fecha, recolector, determinador), asociada a cada espécimen ingresado.

2.8. Variables de estudio

2.8.1 Distribución espacial actual de *Hesperomeles obtusifolia*

- **Altitud**

El instrumento utilizado para registrar la variable altitud fue un GPS móvil, en la aplicación KoboCollect. Para su funcionamiento, se activó la ubicación del dispositivo y habilitó la localización en cada sitio de muestreo. La aplicación permitió asignar un nombre a cada punto registrado y guardar todas las coordenadas en el historial. Los datos de altitud se expresaron en metros sobre el nivel del mar (msnm).

- **Pendiente**

Los datos se obtuvieron a partir de Modelos Digitales de Elevación (DEM) generados por ALOS PALSAR. Estos modelos permitieron caracterizar la superficie del terreno mediante datos altitudinales y coordenadas geográficas de latitud y longitud. Esta información permitió analizar características topográficas como pendientes, elevaciones y relieves con alta precisión.

- **Temperatura**

La información de temperatura, expresada en grados Celsius (°C), fue descargada desde de la plataforma digital WorldClim. Los datos incluyen valores de temperatura mínima, media y máxima. El proceso consistió en acceder al sitio web de WorldClim, lo que permitió realizar un análisis detallado y preciso del área de estudio. El mismo procedimiento se utilizó para las variables de precipitación expresadas en milímetro (mm).

Tabla 3

Diseño de las matrices para el registro de los datos primarios.

N° árbol	Altura(m)	Coordenada X	Coordinada Y	Localidad	Parroquia

2.8.2 Comportamiento ecológico de las especies asociadas con *Hesperomeles obtusifolia*

- **Altura**

El instrumento empleado para la medición de la altura fue un clinómetro forestal. El procedimiento consistió en medir cada individuo de H*esperomeles obtusifolia* empezando desde la base, a nivel del suelo (parte inferior), hasta el punto más alto de la especie (parte superior) determinando así la altura total. Cabe mencionar que fueron medidas aquellas que predominen una altura superior a 1 m.

- **DAP (Diámetro a la altura del pecho)**

De manera similar, se empleó la cinta diamétrica para medir el DAP (diámetro a la altura del pecho) a cada individuo de *Hesperomeles obtusifolia* que cumplió con el requerimiento de que sea superior a 1 metro. Esto consistió en posicionarse lo más cerca al individuo, midiendo la circunferencia del fuste a una altura de 1,30 metros utilizando la cinta métrica. El valor obtenido para cada individuo fue registrado en una hoja de campo, garantizando un control adecuado de la información en campo recolectada.

- **Asociatividad de flora en relación con *Hesperomeles obtusifolia***

Se establecieron parcelas circulares de 500 m2, con un radio de 12,6 metros, delimitadas con cinta métrica y piola blanca para garantizar precisión. Dentro de cada parcela se realizó el conteo directo de los individuos de flora que se encuentran presentes alrededor de *Hesperomeles obtusifolia*. Este enfoque permitió registrar de manera detallada la presencia de la vegetación asociada en el área de estudio.

CAPÍTULO III

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. Variables bioclimáticas para el modelamiento

Se evaluó la influencia de variables ambientales en la distribución potencial de *Hesperomeles obtusifolia* mediante el modelo MaxEnt. Los resultados indican que las variables con mayor contribución fueron los sistemas productivos (39,9%), la velocidad del viento (14,0%), la unidad geopedológica (13,6%), la isotermalidad (BIO3)(12,4%) y el rango diurno medio de temperatura (BIO2)(11,8%) (Tabla 4). Estos resultados indican que la distribución de la especie está asociada a factores de uso del suelo como a condiciones climáticas y edáficas del entorno.

Tabla 4

Contribución e importancia de permutación de las variables ambientales en el modelo MaxEnt para Hesperomeles obtusifolia en la zona andina del cantón Cotacachi.

Variable ambiental	Contribución %	Importancia de permutación %
Sistemas productivos	39,9	2,6
Velocidad del viento	14	0
Unidades geopedológicas	13,6	0,3
Isotermalidad	12,4	2
Rango diurno medio de temperatura (Bio2)	11,8	0,6
Orientación de la pendiente	2,2	0

pH suelo	1,6	5.2
Precipitaciones del trimestre más frío (BIO19)	1,4	60,2
Estacionalidad temperatura (BIO4)	1,1	13,5
Nitrógeno del suelo	0,9	2,8
Temperatura mínima (°C) Media Anual	0,5	10,4
Estacionalidad de las precipitaciones (BIO15)	0,3	1,3
Índice de Posición Topográfica	0,1	0,4
Precipitación del mes más seco	0,1	0
Modelo Digital de Elevación	0	0,6

Nota: Resultados obtenidos a partir del modelo MaxEnt versión 3.4.4. Variables bioclimáticas derivadas de WorldClim v2.1

De acuerdo con el análisis de permutación esta mide la dependencia de cada variable del modelo, la distribución de *Hesperomeles obtusifolia* estuvo influenciada en su mayoría por la precipitación del trimestre frío (BIO19) (60,2%), la estacionalidad de la temperatura (BIO4)(13,5%) y temperatura mínima (BIO6)(10,4%). Estos resultados evidencian que, los

sistemas productivos presentan el mayor porcentaje en la contribución del modelo (39,9%), su importancia de permutación desciende (2,6%), las variables climáticas tuvieron mayor peso predictivo en la distribución de la especie. En cuanto a los rangos ambientales, se determinó que *Hesperomeles obtusifolia* se distribuye en condiciones de temperatura que oscilan entre 8 °C y 14 °C, precipitaciones entre 840 y 1080 mm, en un rango altitudinal de 2500 a 3500 msnm.

El modelo alcanzó un rendimiento alto, con un AUC promedio de 0,987 en entrenamiento y 0,954 en prueba, con una desviación estándar de 0,018. Estos valores reflejan una excelente capacidad para distinguir entre áreas adecuadas y no adecuadas para la presencia de la especie.

De acuerdo con Bonilla (2021), en la parroquia Gonzales Suárez la temperatura oscila entre 6 y 13 °C, mientras que la precipitación varía entre 900 y 1300 mm. Estos rangos concuerdan con los resultados del análisis del modelo digital de elevación (DEM), que evidencia que *Hesperomeles obtusifolia* se distribuye a partir de los 2500 msnm, extendiéndose hacia mayores altitudes dentro de la zona andina de estudio.

Asimismo, el análisis de los mapas de isoyetas evidenció que la especie se encuentra en zonas con precipitaciones entre 840 y 1080 mm. En zonas de menor altitud, estos valores tienden a disminuir. Esto permite inferir que la distribución de *Hesperomeles obtusifolia* está relacionada a condiciones climáticas del entorno. Además, el crecimiento y establecimiento dependen de condiciones microclimáticas específicas, lo que explica su presencia en ciertos sectores y su ausencia en áreas con características menos favorables.

3.1.1. Distribución espacial

El modelo de distribución potencial permitió identificar diferentes niveles de idoneidad para *Hesperomeles obtusifolia* dentro de la zona andina. Las áreas de alta idoneidad (probabilidad entre 0,605 y 1,0) se concentran principalmente en sectores como El Morlán, en la parroquia Imantag y en zonas asociadas a la Reserva Ecológica Cotacachi-Cayapas, en su mayoría en la parroquia Quiroga, donde predominan condiciones ambientales favorables para la especie. Por su parte, las zonas clasificadas con baja idoneidad (valores de 0,142 a 0,325) se localizan en las parroquias de San Francisco y Plaza Gutiérrez, donde se presentan condiciones ambientales menos adecuadas para la presencia potencial de la especie.

Los registros de presencia obtenidos en campo se localizaron dentro de las áreas identificadas por el modelo (baja, media y alta idoneidad), coincidiendo con la distribución espacial de la especie. La comunidad de El Morlán presentó el mayor número de individuos, localizados alrededor de los 3100 msnm, indicando que este rango altitudinal ofrece condiciones adecuadas para el crecimiento de la especie.

Figura 3

Mapa de altitud Cotacachi

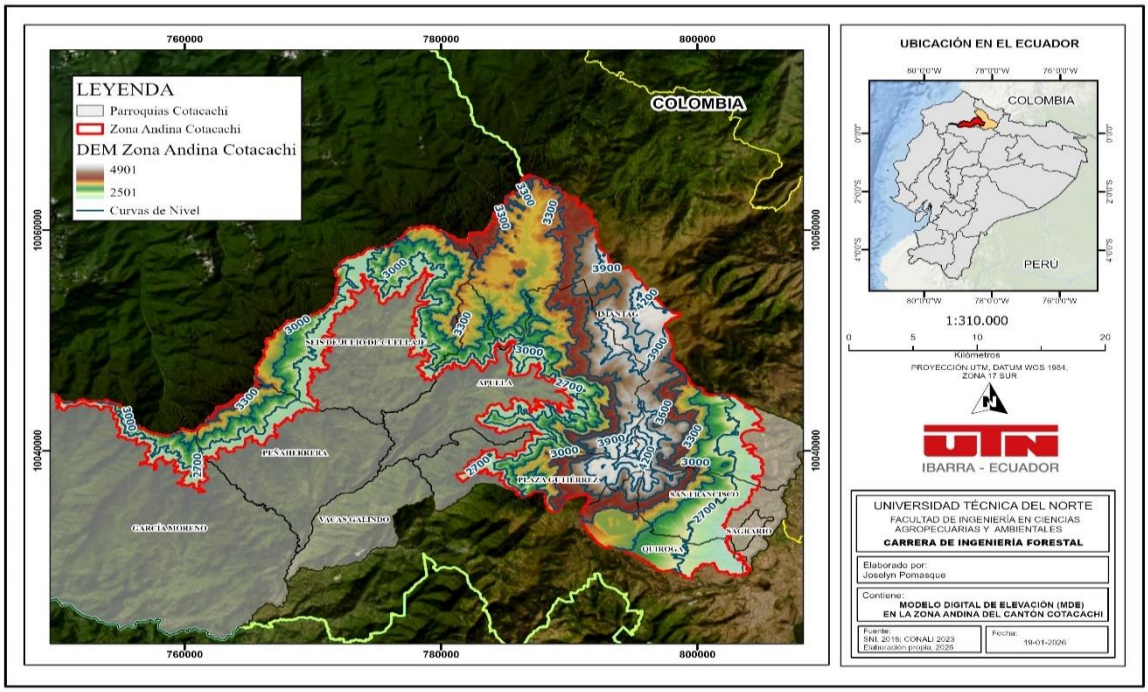


Figura 4

Mapa de isoyetas de Cotacachi

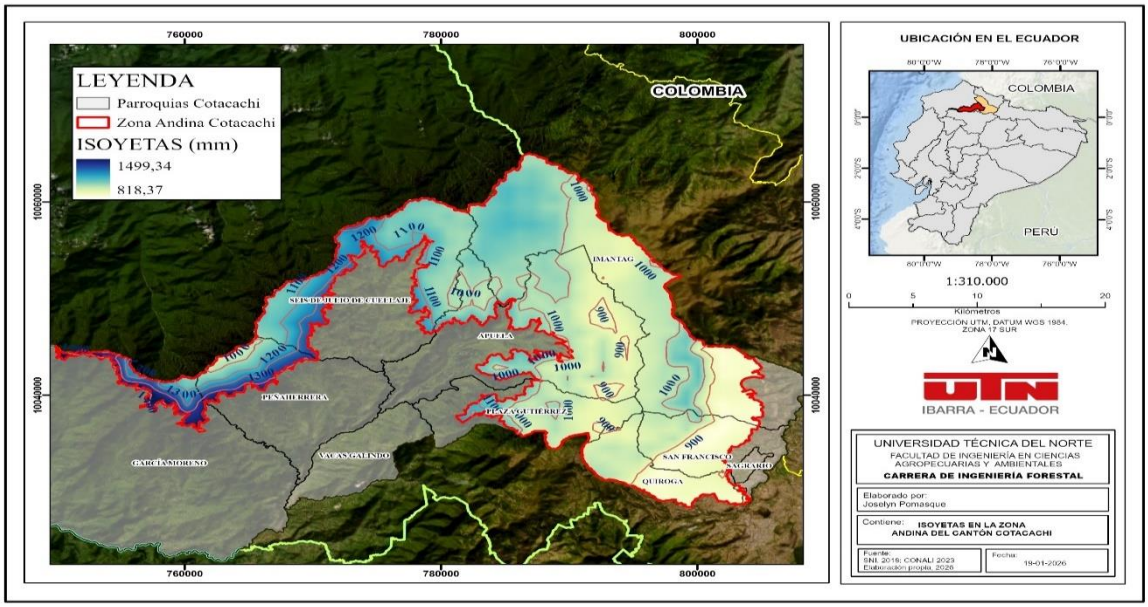


Figura 5

Mapa de isotermas de Cotacachi

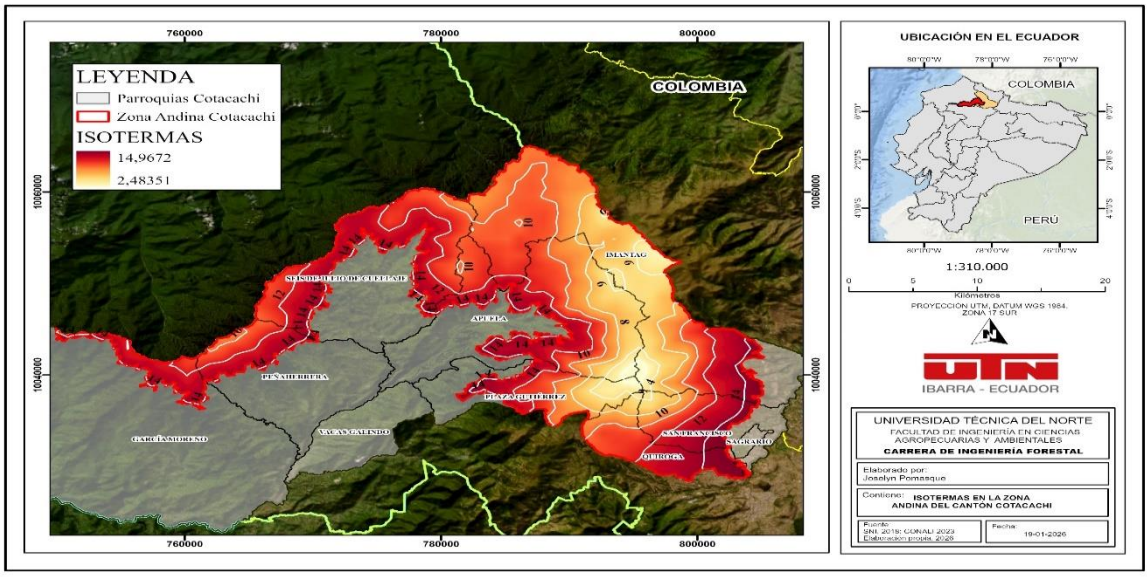
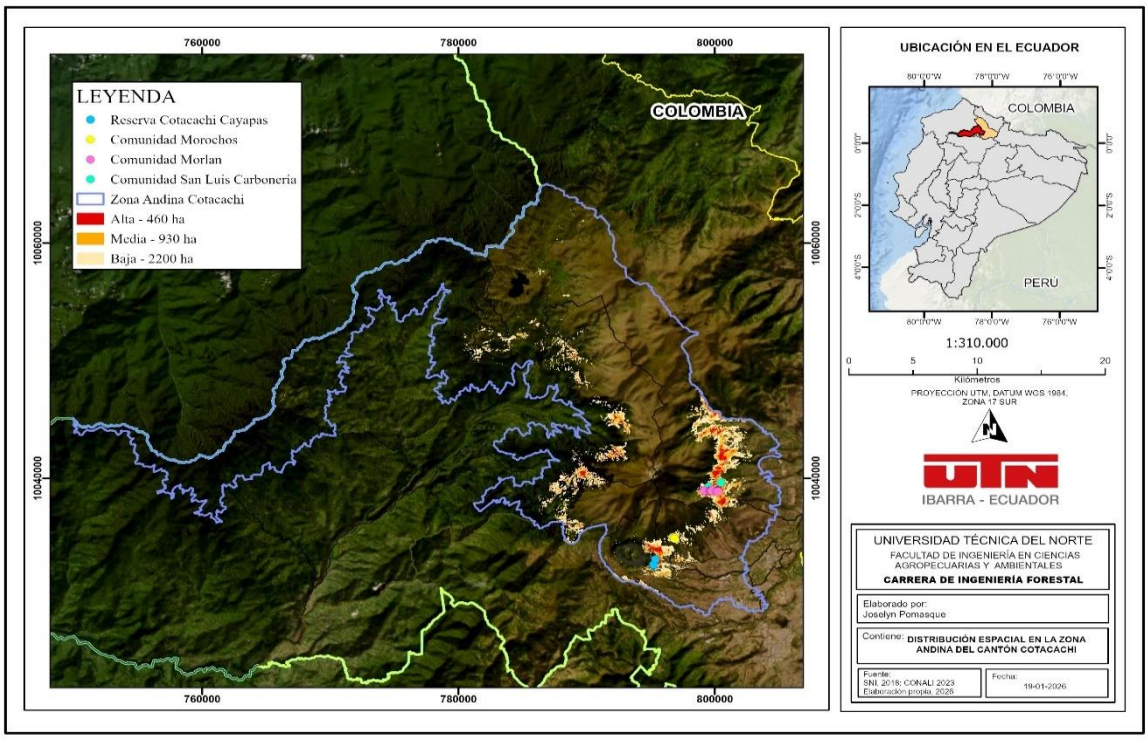


Figura 6

Mapa de distribución Cotacachi



Nota: Los valores entre 0,142 y 0,325 corresponden a zonas de baja idoneidad, mientras que los superiores a 0,605 indican áreas óptimas para la presencia de *Hesperomeles obtusifolia*. Los tonos más intensos representan mayores niveles de idoneidad, incluyendo tanto registros confirmados como áreas potenciales.

Bonannella et al. (2022) señalan que la distribución espacial varía entre especies forestales, sin embargo, las variables bioclimáticas como la temperatura, precipitación y altitud constituyen los principales factores predictivos en los modelos de distribución, destacándose variables como BIO 14 Y BIO 17.

Por su parte, Cabascango & Cando (2025) indican que la altitud es la variable con mayor influencia en la distribución de *Hesperomeles obtusifolia*, estableciendo un rango altitudinal entre 2800 a 3600 msnm. Además, los estudios realizados por Castellanos & Beltrán (2020) señalan que la disponibilidad del agua es un factor determinante, ya que influye directamente en la distribución de especies del páramo. Asimismo, los resultados obtenidos en el presente estudio muestran valores de precipitación entre 840 y 1080 mm, los cuales coinciden con lo reportado por Castellanos & Beltrán (2020).

Los resultados de este estudio evidencian que la distribución de *Hesperomeles obtusifolia* en la zona andina de Cotacachi está fuertemente determinada por el gradiente altitudinal y las condiciones edafoclimáticas asociadas, lo cual es consistente con los patrones reportados para otras especies en los Andes tropicales. El alto desempeño de los modelos MaxEnt (AUC > 0,9) valida la utilidad de este algoritmo para modelar la distribución de especies tropicales con datos limitados de presencia.

3.2. Comportamiento ecológico de *Hesperomeles obtusifolia*

El comportamiento ecológico se analizó considerando datos dasométricos, su rango altitudinal y las interacciones con la vegetación asociada, con el fin de identificar las condiciones ambientales que favorecen su supervivencia.

3.2.1. Variables dasométricas

A partir de los datos recolectados en campo, se caracterizó a la población de *Hesperomeles obtusifolia*. En promedio, se registraron 8 individuos por parcela de 500 metros cuadrados m² en cada comunidad muestreada, contabilizando un total de 32 individuos. La edad fue estimada de manera referencial a partir del conocimiento local proporcionado por habitantes de las comunidades visitadas, obteniendo un valor promedio de 45 años. La altura media registrada fue de 3,42 m, mientras que el DAP promedio fue de 0,15 m, como se muestra en la Tabla 5.

Tabla 5

Datos dasométricos de Hesperomeles obtusifolia

Variable	**Valores**
Número de individuos	32
Promedio de árboles por parcela	8
Edad promedio (años)	45
Altura media(m)	3,42
DAP(m)	0,15

Nota. La edad promedio corresponde a una estimación basada en el conocimiento de los habitantes locales. DAP: diámetro a la altura del pecho.

De acuerdo con Ulquiango y Méndez (2024), en su estudio muestran que *Hesperomeles obtusifolia* presenta un DAP promedio de 0,25 m, lo cual coincide y se encuentra dentro del rango con los valores obtenidos en esta investigación. El DAP registrado concuerda con patrones dasométricos descritos para especies de la familia Rosaceae en zonas altoandinas, caracterizadas por presentar diámetros reducidos y crecimiento restringido. Esto se asocia a factores ambientales como la altitud, las bajas temperaturas y la limitada disponibilidad de nutrientes en el suelo.

La relación directa entre la altura total y el DAP fue positiva, lo cual indica que a mayor diámetro corresponde una mayor altura en los individuos. Este comportamiento es típico en especies leñosas de ambientes andinos. Estos resultados corresponden a valores promedio obtenidos a partir de una altura de 3,42 m, un DAP de 0,15 m.

En cuanto a la influencia de la altitud sobre la altura, los resultados son congruentes con lo reportado por Benalcázar y Toledo (2020), quienes señalan que la altura de los individuos tiende a aumentar con la altitud en los ecosistemas andinos.

Este patrón difiere de lo descrito por Grubb (1977), quien indica que la altura de los árboles disminuye con el incremento altitudinal. Estas diferencias pueden atribuirse a condiciones locales del área de estudio, como la menor intervención antrópica en zonas de mayor altitud, así como a factores ambientales como la disponibilidad de radiación solar y condiciones microclimáticas que favorecen el desarrollo de la vegetación.

3.2.1.1. Anatomía de Hesperomeles obtusifolia

De forma complementaria a las variables dasométricas, se efectuaron observaciones descriptivas de la madera de *Hesperomeles obtusifolia*, registrándose una coloración pardo-

amarillenta, textura media y brillo de fino a moderado, sin olor ni sabor característicos. En cuanto a su anatomía, se evidenció una porosidad difusa con vasos de pequeño diámetro, mayoritariamente solitarios. La identificación de anillos de crecimiento fue poco clara, lo cual se asocia al crecimiento lento de la especie bajo condiciones altoandinas.

Estas propiedades organolépticas muestran una clara afinidad con lo reportado para otras especies de la familia Rosaceae. En este contexto, Pérez y Pacheco (2008), indican que *Prunus domestica* L. y *Prunus armeniaca* L. carecen de olor y sabor, además de presentar un brillo medio y textura fina con veteado liso. De manera análoga, Salazar et al. (2021) señalan que *Prunus serotina* posee textura fina, grano recto y, en general, carece de olor y sabor, lo que refuerza la consistencia de estas características a nivel familiar.

En relación con la estructura anatómica, Pérez et al. (2008) describen la presencia de poros mayoritariamente solitarios, con escasa ocurrencia de poros múltiples radiales (de dos a tres) y agrupados, lo cual coincide con lo observado en *Hesperomeles obtusifolia*.

Por otra parte, *Hesperomeles obtusifolia* presenta una pérdida gradual de peso y humedad durante el proceso de secado, mostrando su mayor contracción en la dirección tangencial, seguida de la radial y finalmente la longitudinal, tal como se detalla en la Tabla 6.

Este comportamiento confirma la naturaleza anisotrópica de la madera y su dependencia de la estructura anatómica, un fenómeno reportado en especies leñosas (Forest Products Laboratory, 2010; Simpson, 1991; Soares et al., 2016).

Tabla 6

Promedios de dimensiones anatómicas y peso de la madera de Hesperomeles obtusifolia según su estado de humedad.

Estado madera	Longitud(cm)	Radial (cm)	Tangencial (cm)	Peso.prom (gr)
Verde	7,12	3,60	3,10	64,50
Secado a 40°C	7,11	3,56	3,06	58
Secado a 60°C	7,10	3,52	3,01	50
Secado a 80°C	7,09	3,47	2,96	44
Secado a 103°C	7,08	3,42	2,91	40

Nota: Los datos representan promedios obtenidos a partir de mediciones longitudinales, radiales y tangenciales realizadas en probetas de *Hesperomeles obtusifolia* sometidas a un proceso de secado controlado.

3.2.2. Especies asociadas

Se identificaron diversas especies vegetales asociadas al hábitat de *Hesperomeles obtusifolia*, registrándose un total de 21 especies distribuidas en diferentes familias botánicas, tal como se detalla en la Tabla 7.

Tabla 7

Flora asociada a Hesperomeles obtusifolia

Familia	Especie	Nombre Común
Araliaceae	*Oreopanax ecuadorensis*	Pumamaqui
Polygonaceae	*Rumex crispus*	Lengua de vaca

Asteraceae	*Baccharis latifolia,* *Baccharis,* *Ageratina altissima,* *Conoclinium coelestinum*	Chilca, Chilca negra, Raíz de Víbora Blanca, Flor de niebla.
Coriariaceae	*Coriaria ruscifolia*	Shanshi
Podocarpaceae	*Podocarpus*	Olivo
Bromeliaceae	*Puya hamata*	Achupalla
Myricaceae	*Morella pubescens*	Laurel de cera
Myrtaceae	*Myrcianthes sp*	Arrayán
Betulaceae	*Alnus acuminata*	Aliso
Rosaceae	*Rubus glaucus*	Mora de monte
Actinidiaceae	*Saurauia sp*	Moquillo
Ericaceae	*Vaccinium floribundum*	Mortiño
Poaceae	*Cinnagrostis intermedia,* *Sorghum halepense*	Paja de páramo, Maicillo
Melastomataceae	*Miconia latifolia*	Kullka
Gesneriaceae	*Heppiella ulmifolia*	Oquilla o Flor de quinde
Fabaceae	*Dalea elegans*	Escobilla
Phytolaccaceae	*Phytolacca acinosa*	Hierba carmín

Nota. La tabla presenta la flora más frecuente; no se incluyen datos de abundancia o frecuencia. Se identifican especies nativas y exóticas para resaltar su importancia ecológica en el área de estudio.

Al respecto, Yánez (2011) señala que *Oreopanax ecuadorensis* es una de las especies con mayor presencia en asocio con *Hesperomeles obtusifolia*, debido a su contribución de la estabilidad y conservación de los suelos. Estas condiciones favorecen la retención de humedad y nutrientes, generando un ambiente adecuado para el hábitat de la especie.

La asociación observada concuerda con los resultados obtenidos por Callaway (2007), quien señala que la convivencia entre especies arbóreas puede mejorar las condiciones del sitio. Esta interacción permite que cada especie cumpla su función ecológica y genere beneficios en común. En este sentido, la relación descrita forma parte del proceso natural del bosque andino, donde *Hesperomeles obtusifolia* se beneficia de la interacción con otras especies para mantener su equilibrio ecológico. Asimismo, la presencia de especies exóticas como *Rumex crispus* y *Sorghum halepense* evidencia procesos de intervención antrópica, los cuales pueden alterar la estructura y dinámica del ecosistema. En este contexto, los bosques montanos desempeñan un papel fundamental en programas de restauración ecológica, promoviendo el uso de especies nativas y reduciendo la expansión de especies invasoras.

CAPÍTULO IV

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CONCLUSIONES

- El presente estudio proporciona la primera caracterización detallada de la distribución geográfica de *Hesperomeles obtusifolia* en la Zona Andina de Cotacachi. El modelo de distribución potencial generado mediante MaxEnt presentó un alto desempeño predictivo con valores AUC de 0,954 de prueba que permitió identificar las variables ambientales clave que determinan la distribución de cada especie como los sistemas productivos, la unidad geopedológica y las variables bioclimáticas de temperatura y precipitación que fueron los factores de mayor influencia.
- La distribución potencial de *Hesperomeles obtusifolia* se concentra en un rango altitudinal que oscila entre 2500 y 3500 msnm, bajo condiciones de temperatura de 8 °C y 14 °C y precipitaciones anuales entre los 840 y 1080 mm. El análisis espacial en ArcGis determinó que en la zona andina cuenta con un área total aproximada de 3590 ha aptas para la especie, de las cuales 460 ha corresponden a alta idoneidad, localizadas principalmente en la comunidad de El Morlán y áreas asociadas a la Reserva Ecológica Cotacachi-Cayapas, además de 930 ha de categoría media y 2200 ha de nivel bajo.
- Según los datos recolectados en campo, se determinó un diámetro (DAP) promedio de 0,15 m y una altura promedio de 3,42 m. Estos resultados indican un crecimiento arbustivo característico de la zona andina de Cotacachi, lo que demuestra cómo se adapta la especie a las condiciones del sitio. Mientras que, las características

anatómicas, la resistencia de la madera justifica su aprovechamiento tradicional en el tallado de los trompos.

- Por medio de trabajo de campo se identificaron 21 especies de flora asociada distribuidas en 17 familias botánicas, con una presencia recurrente de *Oreopanax ecuadorensis* (Araliaceae), lo que sugiere una relación ecológica benéfica con *Hesperomeles obtusifolia* en la zona andina de Cotacachi.

RECOMENDACIONES

- Se recomienda a los Gobiernos Autónomos Descentralizados del cantón Cotacachi priorizar proyectos de conservación y restauración ecológica en áreas identificadas con media y alta idoneidad localizadas en las parroquias de Imantag, Apuela, Quiroga y Plaza Gutiérrez debido a que presentan condiciones óptimas para el establecimiento de *Hesperomeles obtusifolia*, considerando además su relevancia ecológica y su valor asociado al uso tradicional en la elaboración de trompos.
- Se recomienda emplear la información obtenida sobre la distribución potencial de *Hesperomeles obtusifolia* como un insumo para la planificación de programas de restauración ecológica, priorizando aquellas áreas que presentaron condiciones ambientales favorables para su adaptación y desarrollo.
- Estudios futuros deberían incorporar escenarios de cambio climático para evaluar la vulnerabilidad de esta especie ante proyecciones de calentamiento global.
- Desarrollar nuevas investigaciones ecológicas que analicen con mayor detalle la relación entre *Hesperomeles obtusifolia* y su flora asociada, incorporando datos de abundancia y frecuencia, para comprender mejor la estructura y convivencia de estas especies en el bosque andino.

Referencias Bibliográficas

Achu, A. L., C. Aju, Mariano Di Napoli, Pranav Prakash, Girish Gopinath, E. Shaji, & Vinod Chandra. 2023. "Machine-Learning Based Landslide Susceptibility Modelling with Emphasis on Uncertainty Analysis". Geoscience Frontiers 14 (6): 101657. https://doi.org/10.1016/j.gsf.2023.101657.

Ashton, M. S., & Kelty, M. J. (2018). *The practice of silviculture: Applied forest ecology* (10th ed.). John Wiley & Sons.

Benalcázar Ochoa, P. M., & Toledo Fajardo, C. S. (2020). *Relación entre diversidad funcional de la vegetación leñosa con variables de clima y biomasa aérea en bosques andinos del macizo del Cajas* [Tesis de grado, Universidad de Cuenca]. Repositorio Institucional Universidad de Cuenca. http://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/33841

Bernard, H. R. (2017). *Research methods in anthropology: Qualitative and quantitative approaches* (6th ed.). Rowman & Littlefield.

Bonannella, C., Hengl, T., Heisig, J., Parente, L., Wright, M. N., Herold, M., & De Bruin, S. (2022). Forest tree species distribution for Europe 2000–2020: mapping potential and realized distributions using spatiotemporal machine learning. *PeerJ*, 10, e13728. https://doi.org/10.7717/peerj.13728

Bonilla Valle, M. R. (2021). *Propagación vegetativa de Hesperomeles obtusifolia (Pers) Lindl (CEROTE) empleando hormonas de enraizamiento en el cantón Otavalo, provincia de Imbabura*. [Tesis de Ingeniería Forestal, Universidad Técnica del

Norte]. Repositorio Digital UTN. http://repositorio.utn.edu.ec/handle/123456789/11186

Brown, J. H. (2014). Why are there so many species in the tropics? *Journal of Biogeography*, 41(1), 8-22. https://doi.org/10.1111/jbi.12228

Cabascango Cuascota, V. M., & Cando Villarruel, N. C. (2025). *Distribución potencial de tres especies vegetales importantes para la dieta del oso andino (Tremarctos ornatus) en la Cordillera Oriental, Imbabura* [Trabajo de titulación, Universidad Técnica del Norte]. Repositorio Institucional UTN. https://repositorio.utn.edu.ec/handle/123456789/16901

Callaway, R. M. (2007). *Positive interactions and interdependence in plant communities*. Springer Science & Business Media.

Callaway, R. M., & Walker, L. R. (1997). Competencia y facilitación: un enfoque sintético de las interacciones en comunidades vegetales . Ecology , 78 (7) , 1958-1965 . https://doi.org/10.1890/0012-9658(1997)078[1958:CAFASA]2.0.CO;2

Cevallos, R. C., Posso Yépez, M. A., Naranjo Toro, M., Bedón Suárez, I., & Soria Flores, R. (2017). La cosmovisión andina en Cotacachi. Editorial Universidad Técnica del Norte.

Cuesta, F., Llambí, L. D., Huggel, C., & Gómez-Mendoza, L. (2017). Adaptación basada en ecosistemas en los Andes. *Climate and Development*, 9(2). https://doi.org/10.1080/17565529.2016.1238994

Dangles, O., Carpio, C., Villares, M., Yumisaca, F., Rebaudo, F., & Silvain, J. F. (2013). Conservación comunitaria en acción: ¿Qué implica en el mundo real? *Biodiversity and Conservation*. https://doi.org/10.1007/s10531-013-0508-y

Duque, A., Peña, M. A., Cuesta, F., Meyer-Antó, S., Asner, G. P., Nateghi, K., ... & Malhi, Y. (2021). Mature Andean forests as globally important carbon sinks and future carbon refuges. *Nature Communications*, 12, 2138. https://doi.org/10.1038/s41467-021-22459-8

Elith, J., & Leathwick, J. R. (2009). Species distribution models: Ecological explanation and prediction across space and time. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*, 40, 677-697. https://doi.org/10.1146/annurev.ecolsys.110308.120159

Elith, J., Phillips, S. J., Hastie, T., Dudík, M., Chee, Y. E., & Yates, C. J. (2011). A statistical explanation of MaxEnt for ecologists. *Diversity and Distributions*, 17(1), 43-57. https://doi.org/10.1111/j.1472-4642.2010.00725.x

Fick, SE y Hijmans, RJ (2017) WorldClim 2: nuevas superficies climáticas con resolución espacial de 1 km para áreas terrestres globales. *Revista Internacional de Climatología* 37 (12), 4302-4315. https://doi.org/10.1002/joc.5086

Forest Products Laboratory. (2010). Wood handbook: Wood as an engineering material. U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory.

Franklin, J. (2010). Moving beyond static species distribution models in support of conservation biogeography. Diversity and Distributions, 16(3), 321–330. https://doi.org/10.1111/j.1472-4642.2010.00641.x

Gentry , AH (1982). Patrones de diversidad de especies de plantas neotropicales. Biología evolutiva, 15 , 1–84 . https://doi.org/10.1007/978-1-4615-6968-8_1

Global Biodiversity Information Facility ([GBIF], 2001). Recuperado de https://www.gbif.org/es/

Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal de Cotacachi. (2015). *Actualización Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial Cantón Santa Ana de Cotacachi 2015-2035*. Imbabura, Ecuador. https://www.imbabura.gob.ec/phocadownloadpap/K-Planes-programas/PDOT/Cantonal/PDOT%20COTACACHI.pdf

Grime, J. P. (2001). Plant Strategies, Vegetation Processes, and Ecosystem Properties. (2nd Edition, John Wiley & Sons, Chichester.

Grinnell, J. (1917). The niche-relationships of the California Thrasher. *The Auk*, 34(4), 427-433. https://doi.org/10.2307/4072271

Grubb, P. J. (1977). Control of forest growth and distribution on wet tropical mountains: with special reference to mineral nutrition. *Annual Review of Ecology and Systematics*, 8(1), 83-107.

Guillera-Arroita, G., Lahoz-Monfort, J. J., Elith, J., Gordon, A., Kujala, H., Lentini, P. E., ... & Wintle, B. A. (2015). Is my species distribution model fit for purpose? Matching data and models to applications. *Global Ecology and Biogeography*, 24(3), 276-292. https://doi.org/10.1111/geb.12268

Guisan, A., & Zimmermann, N. E. (2000). Predictive habitat distribution models in ecology. Ecological Modelling, 135(2–3), 147–186. https://doi.org/10.1016/S0304-3800(00)00354-9

Guisan, A., Tingley, R., Baumgartner, J. B., Naujokaitis-Lewis, I., Sutcliffe, P. R., Tulloch, A. I. T., Regan, T. J., Brotons, L., McDonald-Madden, E., Mantyka-Pringle, C., Martin, T. G., Rhodes, J. R., Maggini, R., Setterfield, S. A., Elith, J., Schwartz, M. W., Wintle, B. A., Broennimann, O., Austin, M., Ferrier, S., Kearney, M. R., Possingham, H. P., & Buckley, Y. M. (2013). Predicting species distributions for conservation decisions. Ecology Letters, 16(11), 1424–1435. https://doi.org/10.1111/ele.12189

Hernández Sampieri, R., Fernández Collado, C., & Baptista Lucio, M. P. (2014). *Metodología de la investigación* (6.ª ed.). McGraw-Hill / Interamericana Editores.

Hijmans, R. J., Phillips, S., Leathwick, J., & Elith, J. (2017). *dismo: Species Distribution Modeling*. R package version 1.1-4. https://CRAN.R-project.org/package=dismo

Hutchinson, G. E. (1957). Concluding remarks. *Cold Spring Harbor Symposia on Quantitative Biology*, 22, 415-427. https://doi.org/10.1101/SQB.1957.022.01.041

Jorgensen, P. M., & León-Yánez, S. (1999). *Catalogue of the vascular plants of Ecuador*. Missouri Botanical Garden Press. http://doi.org/10.5962/bhl.title.122247

Larrieu, L., Paillet, Y., Winter, S., Bütler, R., Kraus, D., Krumm, F., ... & Vandekerkhove, K. (2018). Tree related microhabitats in temperate and Mediterranean European

forests: A hierarchical nomenclature for inventory standardization. *Ecological Indicators*, 84, 194-207. https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2017.08.051

Little, E. L., & Dixon, R. G. (1969). *Árboles comunes de la provincia de Esmeraldas*. FAO/SF: 76/ECU 13.

Llorente Bousquets, J., & Morrone, J. J. (Eds.). (2001). *Introducción a la biogeografía en Latinoamérica: teorías, conceptos, métodos y aplicaciones*. UNAM.

Londoño-Murcia, M. C., & Sánchez-Cordero, V. (2011). Distribución y conservación de especies amenazadas en Mesoamérica, Chocó y Andes tropicales. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 82(3), 1038-1047.

Maciel-Mata, C. A., Manríquez-Morán, N., Octavio-Aguilar, P., & Sánchez-Rojas, G. (2015). *El área de distribución de las especies: revisión del concepto.* Acta Universitaria, 25(2), 3–19. https://doi.org/10.15174/au.2015.690

Merow, C., Smith, M. J., & Silander, J. A. (2013). A practical guide to MaxEnt for modeling species' distributions: what it does, and why inputs and settings matter. *Ecography*, 36(10), 1058-1069. https://doi.org/10.1111/j.1600-0587.2013.07872.x

Ministerio de Cultura y Patrimonio. (2024). *Acuerdo Nro. MCYP-MCYP-2024-0065-A*. https://contenidos.culturaypatrimonio.gob.ec/wp-content/uploads/MCYP-MCYP-2024-0065-A.pdf

Ministerio del Ambiente [MAE]. (2015). *Evaluación Nacional Forestal de Ecuador*. Ministerio del Ambiente.

Nottingham, A. T., Whitaker, J., Ostle, N. J., Bardgett, R. D., McNamara, N. P., Fierer, N., ... & Meir, P. (2015). Climate warming and soil carbon in tropical forests: insights from an elevation gradient in the Peruvian Andes. *BioScience*, 65(9), 906-921. https://doi.org/10.1093/biosci/biv109

Pasinelli, G., Hegelbach, J., & Reyer, H. U. (2001). Spacing behavior of the middle spotted woodpecker in central Europe. *Journal of Wildlife Management*, 65(3), 432–441. https://doi.org/10.2307/3803095

Pearson, R. G., Raxworthy, C. J., Nakamura, M., & Townsend Peterson, A. (2007). Predicting species distributions from small numbers of occurrence records: A test case using cryptic geckos in Madagascar. *Journal of Biogeography*, 34(1), 102–117. https://doi.org/10.1111/j.1365-2699.2006.01594.x

Peña, M. A., Cárdenas, D., & Duque, Á. (2010). Distribución de especies y su relación con la variación ambiental y espacial a escala local en un bosque de tierra firme en la Amazonia colombiana. Actualidades Biológicas, 32(92), 41–51.

Pérez Olvera, C. D. L. P., Mendoza Aguirre, M., Ceja Romero, J., & Pacheco, L. (2008). Anatomía de la madera de cinco especies de la familia Rosaceae. *Madera y bosques*, 14(1), 81-105.

Peterson, A. T., Soberón, J., Pearson, R. G., Anderson, R. P., Martínez-Meyer, E., Nakamura, M., & Araújo, M. B. (2011). *Ecological niches and geographic distributions*. Princeton University Press. https://doi.org/10.2307/j.ctt7snkz

Pettorelli, N., Vik, J. O., Mysterud, A., Gaillard, J. M., Tucker, C. J., & Stenseth, N. C. (2005). Using the satellite-derived NDVI to assess ecological responses to environmental change. *Trends in Ecology & Evolution*, 20(9), 503-510. https://doi.org/10.1016/j.tree.2005.06.011

Phillips, S. J., & Dudík, M. (2008). Modeling of species distributions with Maxent: New extensions and a comprehensive evaluation. *Ecography*, 31(2), 161–175. https://doi.org/10.1111/j.0906-7590.2008.5203.x

Phillips, S. J., Anderson, R. P., & Schapire, R. E. (2006). Maximum entropy modeling of species geographic distributions. Ecological Modelling, 190(3–4), 231–259. https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2005.03.026

Phillips, S. J., Anderson, R. P., Dudík, M., Schapire, R. E., & Blair, M. E. (2017). Opening the black box: an open-source release of Maxent. *Ecography*, 40(7), 887-893. https://doi.org/10.1111/ecog.03049

Pitman, N. C. A., Terborgh, J. W., Silman, M. R., Núñez, P. V., Neill, D. A., Cerón, C. E., Palacios, W. A., & Aulestia, M. (2001). Dominance and distribution of tree species in upper Amazonian terra firme forests. *Ecology*, 82(8), 2101–2117. https://doi.org/10.1890/0012-9658(2001)082[2101:DADOTS]2.0.CO;2

Saatchi, S. S., Harris, N. L., Brown, S., Lefsky, M., Mitchard, E. T., Salas, W., ... & Morel, A. (2011). Benchmark map of forest carbon stocks in tropical regions across three continents. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 108(24), 9899-9904. https://doi.org/10.1073/pnas.1019576108

Salazar-Castañeda, E. P., Lema-Palaquibay, L. F., Baños-Gaibor, K. J., Chávez-Velásquez, C. R., Chávez-Velásquez, D. J., & Caballero-Serrano, V. L. (2021). Anatomía de la madera en *Prunus serotina* (Rosaceae), de los Andes centrales de Ecuador. *Polo del Conocimiento*, 6(1), 54–74. https://doi.org/10.23857/pc.v6i1.2125

Simpson, W. T. (1991). *Drying of wood: Principles and practices*. U.S. Department of Agriculture, Forest Service.

Smith, W. K., Germino , M. J., Hancock, T. E., & Johnson, D. M. (2016). Ecofisiología de especies forestales: respuestas al estrés ambiental. Forest Ecology and Management , 380 , 208-223 . https://doi.org/10.1016/j.foreco.2016.09.036

Soberón, J., & Peterson, A. T. (2005). Interpretation of models of fundamental ecological niches and species' distributional areas. *Biodiversity Informatics*, 2, 1–10. https://doi.org/10.17161/bi.v2i0.4

Swets, J. A. (1988). Measuring the accuracy of diagnostic systems. Science, 240(4857), 1285–1293. https://doi.org/10.1126/science.3287615

Tilman, D. (1997). Community invasibility, recruitment limitation, and grassland biodiversity. Ecology, 78(1), 81–92. https://doi.org/10.1890/0012-9658(1997)078[0081:CIRLAG]2.0.CO;2

Trópicos. (2015). *Hesperomeles obtusifolia (Pers) Lindl.* Missouri Botanical Garden. http://www.tropicos.org/Name/27801815

Ulquiango Tambaco, V. A., & Méndez Farinango, N. M. (2024). *Estudio integral del comportamiento fenológico, reproductivo, socioeconómico y métodos de*

almacenamiento de la semilla de Hesperomeles obtusifolia (Pers) Lindl. (cerote) en el Biocorredor Andes Norte (BIAN), Imbabura, Ecuador [Tesis de grado, Universidad Técnica del Norte].

Wallace, A. R. (1876). *The geographical distribution of animals*. Macmillan.

Whittaker, R. H. (1975). Communities and ecosystems (2nd ed.). Macmillan.

Young, K. R. (1994). Roads and the environmental degradation of tropical montane forests. *Conservation Biology*, 8(4), 972-976. https://doi.org/10.1046/j.1523-1739.1994.08040972.x

Young, K. R. (2009). Andean land use and biodiversity: Humanized landscapes in a time of change. *Annals of the Missouri Botanical Garden*, 96(3), 491-507. https://doi.org/10.3417/2008035

ANEXOS

Anexo 1. Variables de modelación

	Tipo	Variable	Descripción	Fuente	Link
1	Climáticas	bio_01	Annual Mean Temperature	WorldClim version 2.1	https://www.worldclim.org/data/worldclim21.html
2	Climáticas	bio_02	Mean Diurnal Range (Mean of monthly (max temp - min temp))	WorldClim version 2.1	https://www.worldclim.org/data/worldclim21.html
3	Climáticas	bio_03	Isothermality (BIO2/BIO7) (×100)	WorldClim version 2.1	https://www.worldclim.org/data/worldclim21.html
4	Climáticas	bio_04	Temperature Seasonality (standard deviation ×100)	WorldClim version 2.1	https://www.worldclim.org/data/worldclim21.html
5	Climáticas	bio_05	Max Temperature of Warmest Month	WorldClim version 2.1	https://www.worldclim.org/data/worldclim21.html
6	Climáticas	bio_06	Min Temperature of Coldest Month	WorldClim version 2.1	https://www.worldclim.org/data/worldclim21.html
7	Climáticas	bio_07	Temperature Annual Range (BIO5-BIO6)	WorldClim version 2.1	https://www.worldclim.org/data/worldclim21.html
8	Climáticas	bio_08	Mean Temperature of Wettest Quarter	WorldClim version 2.1	https://www.worldclim.org/data/worldclim21.html
9	Climáticas	bio_09	Mean Temperature of Driest Quarter	WorldClim version 2.1	https://www.worldclim.org/data/worldclim21.html
10	Climáticas	bio_10	Mean Temperature of Warmest Quarter	WorldClim version 2.1	https://www.worldclim.org/data/worldclim21.html

11	Climáticas	bio_11	Mean Temperature of Coldest Quarter	WorldClim version 2.1	https://www.worldclim.org/data/worldclim21.html
12	Climáticas	bio_12	Annual Precipitation	WorldClim version 2.1	https://www.worldclim.org/data/worldclim21.html
13	Climáticas	bio_13	Precipitation of Wettest Month	WorldClim version 2.1	https://www.worldclim.org/data/worldclim21.html
14	Climáticas	bio_14	Precipitation of Driest Month	WorldClim version 2.1	https://www.worldclim.org/data/worldclim21.html
15	Climáticas	bio_15	Precipitation Seasonality (Coefficient of Variation)	WorldClim version 2.1	https://www.worldclim.org/data/worldclim21.html
16	Climáticas	bio_16	Precipitation of Wettest Quarter	WorldClim version 2.1	https://www.worldclim.org/data/worldclim21.html
17	Climáticas	bio_17	Precipitation of Driest Quarter	WorldClim version 2.1	https://www.worldclim.org/data/worldclim21.html
18	Climáticas	bio_18	Precipitation of Warmest Quarter	WorldClim version 2.1	https://www.worldclim.org/data/worldclim21.html
19	Climáticas	bio_19	Precipitation of Coldest Quarter	WorldClim version 2.1	https://www.worldclim.org/data/worldclim21.html
20	Climáticas	PREC	Precipitation (mm) Anual	WorldClim version 2.1	https://www.worldclim.org/data/worldclim21.html
21	Climáticas	TEMP_MAX	maximum temperature (°C) Media Anual	WorldClim version 2.1	https://www.worldclim.org/data/worldclim21.html

22	Climáticas	TEMP_MEAN	average temperature (°C) Media Anual	WorldClim version 2.1	https://www.worldclim.org/data/worldclim21.html
23	Climáticas	TEMP_MIN	minimum temperature (°C) Media Anual	WorldClim version 2.1	https://www.worldclim.org/data/worldclim21.html
24	Climáticas	VAPR	water vapor pressure (kPa) Media Anual	WorldClim version 2.1	https://www.worldclim.org/data/worldclim21.html
25	Climáticas	WIND_Clip	wind speed (m s-1) Media Anual	WorldClim version 2.1	https://www.worldclim.org/data/worldclim21.html
26	Climáticas	SRAD	solar radiation (kJ m-2 day-1) Media Anual	WorldClim version 2.1	https://www.worldclim.org/data/worldclim21.html

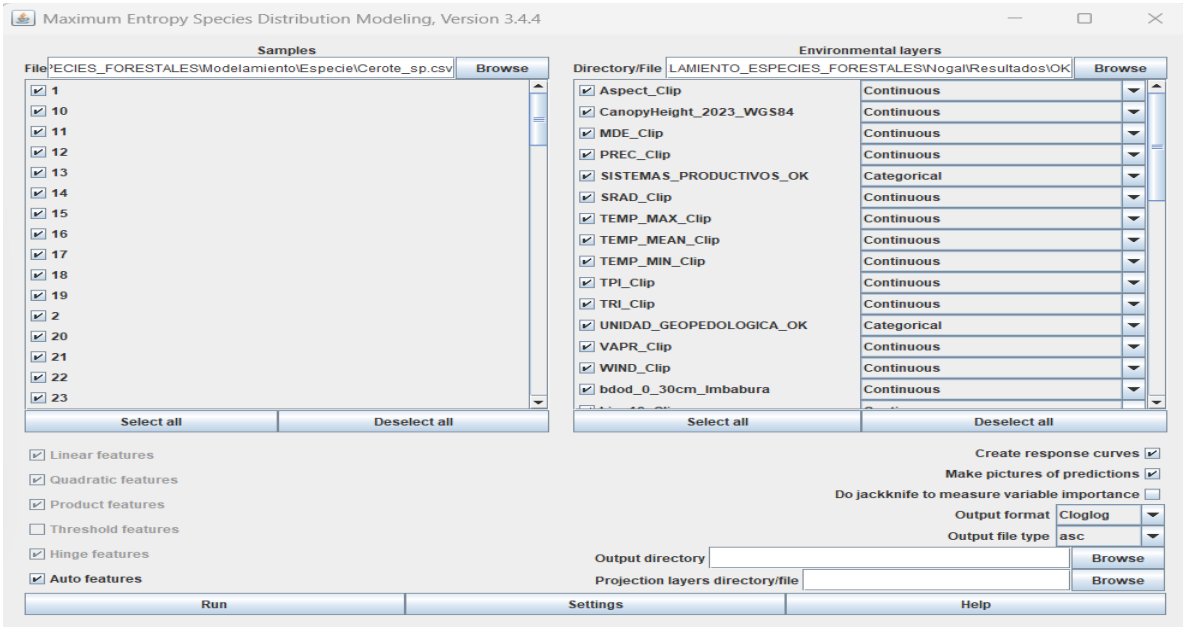
	Tipo	Variable	Descripción	Fuente	Link
1	Cobertura	SISTEMAS_PRODUCTIVOS	Coberturas y usos del suelo	SIG Tierras	http://www.sigtierras.gob.ec/descargas/
2	Cobertura	UNIDAD_GEOPEDOLOGICA	UNIDAD_GEOPEDOLOGICA	SIG Tierras	http://www.sigtierras.gob.ec/descargas/

	Tipo	Variable	Descripción	Fuente	Link
1	Edáficas	bdod_0_30cm_Imbabura	Bulk density of fine soil fraction kg/dm3	Soil Grids	https://soilgrids.org/
2	Edáficas	clay_0_30cm_Imbabura	Clay content %	Soil Grids	https://soilgrids.org/
3	Edáficas	nitrogen_0_30cm_Imbabura	Total nitrogen (N) g/kg	Soil Grids	https://soilgrids.org/
4	Edáficas	ocs_0_30cm_Imbabura	Carbon stock kg/m2	Soil Grids	https://soilgrids.org/
5	Edáficas	phh2o_0_30cm_Imbabura	pH in H2O pH × 10	Soil Grids	https://soilgrids.org/
6	Edáficas	sand_0_30cm_Imbabura	Sand content %	Soil Grids	https://soilgrids.org/

7	Edáficas	silt_0_30cm_Imbabura	Silt content %	Soil Grids	https://soilgrids.org/
8	Edáficas	soc_0_30cm_Imbabura	Soil organic carbon content in fine soil fraction g/kg	Soil Grids	https://soilgrids.org/

	Tipo	Variable	Descripción	Fuente	Link
1	Topográficas	Aspect	Orientación	Se genero a partir del DEM de (Alos Palsar 12,5 m)	
2	Topográficas	flowdir	Dirección del Flujo	Se genero a partir del DEM de (Alos Palsar 12,5 m)	
3	Topográficas	MDE	Modelo Digital de Elevación	DEM (Alos Palsar 12,5 m)	https://search.asf.alaska.edu/
4	Topográficas	slope	Pendiente en grados	Se genero a partir del DEM de (Alos Palsar 12,5 m)	
5	Topográficas	TPI	Topographical Position Index—TP	Se genero a partir del DEM de (Alos Palsar 12,5 m)	
6	Topográficas	TRI	Terrain Roughness Index —TRI	Se genero a partir del DEM de (Alos Palsar 12,5 m)	

Anexo 2: Registro de la corrida del modelo de MaxEnt.



Anexo 3: Variables de modelación de la primera corrida en el modelo MaxEnt.

Variables ambuentales	Percent contribution	Permutation importance
CanopyHeight_2023_WGS84	33.2	0.3
WIND_Clip	13.9	0
SISTEMAS_PRODUCTIVOS_OK	13.3	1.1
bio_3_Clip	12.4	12.2
bio_2_Clip	7.6	0.6
Aspect_Clip	5.7	0.3
bio_7_Clip	4.4	0
UNIDAD_GEOPEDOLOGICA_OK	2.2	0
flowdir_Clip	1.9	0
bio_4_Clip	1.3	15.4
nitrogen_0_30cm_Imbabura	0.8	24
PREC_Clip	0.7	0.5
phh2o_0_30cm_Imbabura	0.7	8.2
bio_6_Clip	0.4	2.8
bio_14_Clip	0.4	0
bio_19_Clip	0.3	1.3
TEMP_MIN_Clip	0.2	4.4
bio_15_Clip	0.2	5.9
MDE_Clip	0.1	1.1

TPI_Clip	0.1	0.3
bio_16_Clip	0.1	21.2
sand_0_30cm_Imbabura	0	0.2
ocs_0_30cm_Imbabura	0	0.2
soc_0_30cm_Imbabura	0	0
slope_Clip	0	0
silt_0_30cm_Imbabura	0	0
clay_0_30cm_Imbabura	0	0
bio_9_Clip	0	0
bio_8_Clip	0	0
bio_5_Clip	0	0
bio_1_Clip	0	0
bio_18_Clip	0	0
bio_17_Clip	0	0
bio_13_Clip	0	0
bio_12_Clip	0	0
bio_11_Clip	0	0
bio_10_Clip	0	0
bdod_0_30cm_Imbabura	0	0
VAPR_Clip	0	0
TRI_Clip	0	0
TEMP_MEAN_Clip	0	0
TEMP_MAX_Clip	0	0

SRAD_Clip	0	0

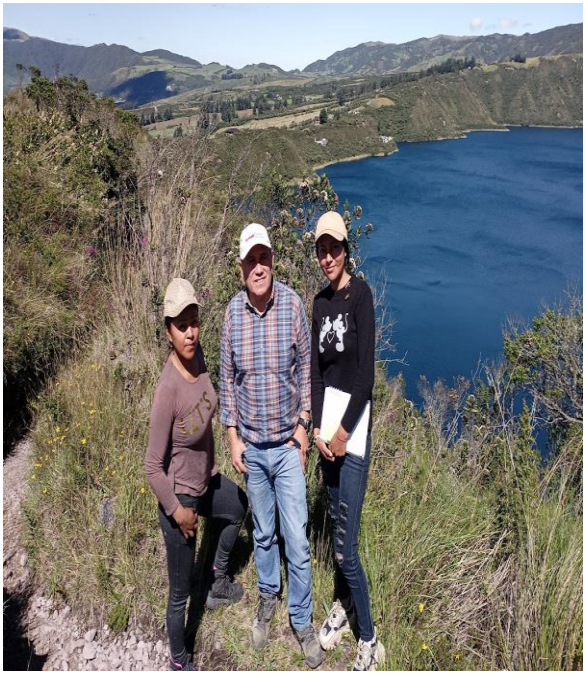
Anexo 4: Registro fotográfico de *Hesperomeles obtusifolia*.



Anexo 5: Registro fotográfico de la recolección del material vegetal de *Hesperomeles obtusifolia*.



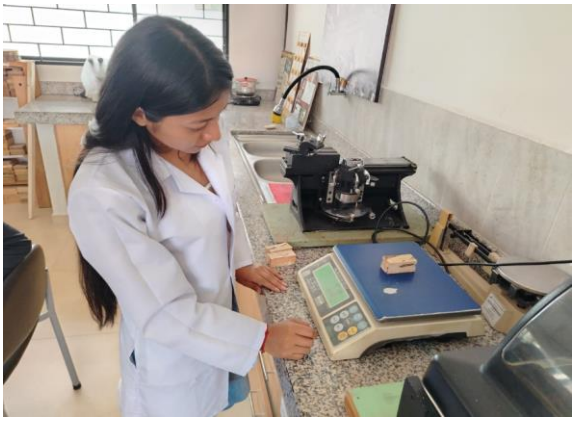
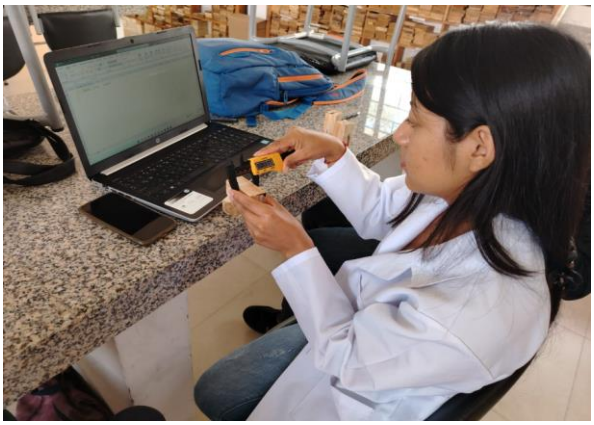
Anexo 6: Registro fotográfico realizado junto al equipo técnico del municipio y docente investigador.




Anexo 7: Registro fotográfico madera de *Hesperomeles obtusifolia* y cepillado.




Anexo 8: Registro fotográfico de las probetas y propiedades anatómicas.

Anexo 9: Registro fotográfico adicional de las diferentes salidas de campo.

