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 potencial de *Juglans neotropica* Diels **en la provincia de Imbabura"**

Trabajo de titulación previo a la obtención del título de "Ingeniería Forestal"

Línea de investigación: Desarrollo agropecuario y forestal sostenible

Autor: Cuellar Tuquerrez María Soledad

Director: Ing. Eraso Terán Oscar Hernando PhD.

Asesor: Ing. Paredes Rodríguez Hugo Orlando MSc.

Ibarra - Julio – 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:	Cuellar Tuquerrez María Soledad

DATOS DE LA OBRA	
TÍTULO:	Distribución espacial potencial de *Juglans neotropica* Diels en la provincia de Imbabura
AUTOR (ES):	Cuellar Tuquerrez María Soledad
FECHA: DD/MM/AAAA	08/07/2026
SOLO PARA TRABAJOS DE TITULACIÓN	
PROGRAMA:	■ **GRADO** □ **POSGRADO**
TITULO POR EL QUE OPTA:	Ingeniería Forestal
DIRECTOR /ASESOR:	Ing. Eraso Terán Oscar Hernando PhD. Ing. Paredes Rodríguez Hugo Orlando MSc.

2. CONSTANCIA

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 8 días del mes de julio de 2026

EL AUTOR:

Validar únicamente en FirmaEC.
Firmado electrónicamente por:
MARIA SOLEDAD
CUELLAR TUQUERREZ

Nombre: María Soledad Cuellar Tuquerrez

CERTIFICACIÓN DIRECTOR DEL TRABAJO DE INTEGRACION CURRICULAR

Ibarra, 8 de Julio del 2026

Ing. Eraso Terán Oscar Hernando 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.



Ing. Eraso Terán Oscar Hernando PhD.

C.C. 1003565718

APROBACIÓN DEL COMITÉ CALIFICADOR

El Comité Calificador del trabajo de Integración Curricular "Distribución espacial potencial de *Juglans neotropica* Diels en la provincia de Imbabura" elaborado por Cuellar Tuquerrez María Soledad previo a la obtención del título de Ingeniera Forestal, aprueba el informe de investigación en nombre de la Universidad Técnica del Norte:

Validar únicamente en FirmaEC.
Firmado electrónicamente por:
OSCAR HERNANDO
ERASO TERAN

Ing. Eraso Terán Oscar Hernando PhD.

C.C. 1003565718

Validar únicamente en FirmaEC.
Firmado electrónicamente por:
HUGO ORLANDO
PAREDES RODRIGUEZ

Ing. Paredes Rodríguez Hugo Orlando MSc.

C.C. 1600285702

DEDICATORIA

A Dios, por darme la fuerza necesaria, llenarme de valentía y no dejarme caer en momentos difíciles.

A mi madre Ana Tuquerrez, por su apoyo incondicional, por llenarme de consejos de valentía, en tiempos que sentía caer, por extender su mano cuando dudaba seguir estudiando, a mi padre José Cuellar por sus oraciones y amor.

A mis hermanos Lennin, Bradley y hermanas Nohemy, Dayana, quienes creyeron en mí desde un principio, por cuidar de mis hijos con amor.

Con mucho amor esta tesis se la dedico a mi querido hijo Benjamin, y a mis queridas hijas Angielyz y Kaylani, quienes, con su amor, ternura me llevaron a permanecer en este camino, quienes también sacrificaron tiempo conmigo y fueron mi motor y motivación más grande.

Este trabajo está dedicado con todo mi cariño y gratitud a ustedes.

AGRADECIMIENTO.

*Agradezco profundamente a la Universidad Técnica del Norte**,** institución que me brindó la oportunidad de formarme profesionalmente, y en especial a la Carrera de Ingeniería Forestal por haber sido el espacio donde adquirí conocimientos, valores y experiencias fundamentales para mi desarrollo académico y personal.*

Agradezco a mi director Ing. Eraso Terán Oscar Hernando PhD, a mi asesor Ing. Paredes Rodríguez Hugo Orlando MSc., también al Ing. Guillermo Varela, y demás Ingenieros por su dedicación, paciencia y orientación intachable. Su reconocimiento profesional y humano ha sido una fuente de inspiración para continuar en esta linda carrera.

Extiendo mi más sincero agradecimiento a las personas que fueron parte de este proceso, en especial a Jhonatan y Kenia, quienes me aconsejaron y brindaron apoyo incondicional, me llena de orgullo haberlos conocido, llevare en mi corazón cada aventura y lo aprendido junto a ustedes. También a Erik Quezada; Cristina Espinosa, Jaime Flores y su hijo, quienes fueron el primer impulso y cuyo apoyo fue fundamental al inicio de este viaje, culminar esta etapa es una manera de demostrarles que no fue en vano la confianza depositada en mí.

Proverbios 16:3

"Pon en manos del Señor todas tus obras, y tus proyectos se cumplirán."

RESUMEN EJECUTIVO

En la provincia de Imbabura *Juglans neotropica* Diels es una especie arbórea conocida como nogal andino y dentro de las comunidades indígenas comúnmente como tocte. Además, tiene importancia ecológica, cultural y económica, ya que es usada para los tallados en madera y la ebanistería por su durabilidad, así mismo, la nuez, fruto de esta especie es un ingrediente principal en las típicas nogadas de Ibarra y posee un valor gastronómico. De esta manera esta especie se ha visto amenazada por el alto consumo de madera, la expansión de tierras y la agricultura, haciendo que disminuya significativamente su presencia y distribución dentro del territorio. Por lo tanto, el objetivo principal de esta investigación fue determinar la distribución espacial potencial de *Juglans neotropica* Diels en la provincia de Imbabura. El trabajo de campo inicial permitió recopilar 152 puntos de presencia, obtenidos a partir de información secundaria de GBIF, cuya existencia fue verificada en campo, y de información primaria recolectada mediante recorridos y consultas a los moradores sobre la ubicación de la especie. Se realizó una estandarización de datos con las variables bioclimáticas como: temperatura, precipitación, elevación y pendiente. Para esto el uso de herramientas SIG y el modelo de máxima entropía (MaxEnt) cumplieron un rol importante dentro de esta investigación. También se realizó un breve estudio de la flora y fauna asociada al nogal, en donde se encontraron 145 individuos pertenecientes a 28 familias botánicas, teniendo mayor frecuencia relativa Lauraceae (aguacate). Referente a la fauna el 71% fueron aves silvestres con mayor frecuencia relativa dentro de la observación.

Palabras clave: distribución potencial, *Juglans neotropica* Diels, MaxEnt.

Abstract

In the province of Imbabura, Juglans neotropica Diels is a tree species known as the Andean walnut, and commonly referred to as tocte within indigenous communities. Furthermore, it holds ecological, cultural, and economic importance, as it is used for wood carving and joinery due to its durability; likewise, the walnut—the fruit of this species—is a main ingredient in the traditional nogadas of Ibarra and possesses significant gastronomic value. Consequently, this species has been threatened by high timber consumption, land expansion, and agriculture, leading to a significant decrease in its presence and distribution within the territory. Therefore, the main objective of this research was to determine the potential spatial distribution of Juglans neotropica Diels in the province of Imbabura. Initial fieldwork enabled the collection of 152 presence points; to optimize the analysis, the Bootstrap method (resampling with replacement) was utilized, which allowed for the reduction and structuring of the final sample to a total of 39 presence points. Data standardization was performed using bioclimatic variables such as temperature, precipitation, elevation, and slope. To achieve this, the use of GIS tools and the maximum entropy model (MaxEnt) played a crucial role in this investigation. Additionally, a brief study of the flora and fauna associated with the walnut was conducted, recording 145 individuals belonging to 28 botanical families, with Lauraceae (avocado) exhibiting the highest relative frequency. Regarding fauna, 71% were wild birds, which showed the highest relative frequency within the observations.

Keywords: distribution, potential, *Juglans neotropica* Diels, MaxEnt, GIS tools, fauna, flora, bootstrap.

LISTA DE SIGLAS

MAE: Ministerio de Ambiente y Energía

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

SIG: Sistema de Información Geográfica

GAD: Gobierno Autónomo Descentralizado

ENFA: Análisis Factorial de Nicho Ecológico

MaxEnt: Máxima entropía

SRTM: Shuttle Radar Topography Mission (Misión de topografía por radar del transbordador)

DEM: Modelos digitales de Elevación

TMA: Temperatura media anual

Índice de Contenido

INTRODUCCIÓN 15

Problema de investigación 15

Formulación del problema 16

Justificación 17

Objetivos 19

Preguntas de investigación 19

CAPITULO I 20

MARCO TEORICO 20

1.1 Distribución geográfica de *Juglans neotropica* Diels 20

1.2 Fenología de la especie 20

1.3 Clasificación Taxonómica 21

1.4 Requerimientos ecológicos 21

1.4.1 Altitud 21

1.4.2 Temperatura 22

1.4.3 Precipitación 22

1.5 Requerimientos edáficos 23

1.5.1 Textura 23

1.5.2 Drenaje 23

1.5.3 pH 24

1.5.4 Caracterización del terreno (cobertura) 24

1.6 Importancia del nogal en el medio 25

1.7 Impactos cultural, social y económico 26

1.8 Coexistencia de fauna y flora en su entorno 27

1.9 Registros de ocurrencia 28

1.9.1 Registros documentados GBIF 28

1.9.2 Observación directa y conocimiento tradicional 29

1.10 Modelos de distribución (MaXent) 29

1.10.1 Proceso de modelado 31

1.10.2 Validación de datos 32

CAPITULO II 33

MATERIALES Y MÉTODOS 33

2.1 Tipo de investigación según los criterios 33

2.2 Ubicación del lugar 34

2.2.1 Política 34

2.2.2 Geografía del sitio 34

2.2.3 Límites 35

2.3 Caracterización edafoclimática del lugar 36

2.3.1 Suelo 36

2.3.2 Clima 36

2.4 Materiales e insumos: 37

2.5 Métodos, técnicas e instrumentos. 37

2.5.1 Universo – población 37

2.5.2 Área de estudio – selección – registro 38

2.6 Caracterización de la flora y fauna 38

2.7 Modelación de la distribución espacial actual y potencial 39

2.7.1 Obtención y procesamiento de información ambiental de la zona 39

2.7.1.1 Variables Bioclimáticas 39
2.7.1.2 Variables Topográficas 40
2.7.1.3 Variables edáficas 40
2.7.1.4 Variables de caracterización de terreno 40
2.7.2 Uniformización de los datos espaciales 41
2.7.2 Modelación de la distribución potencial 42
CAPITULO III 44
RESULTADOS Y DISCUSIÓN 44
3.1 Ubicación de puntos de presencia de *Juglans neotropica* Diels 44
3.1.1 Asociación de flora con Juglans neotropica Diels. 45
3.1.2 Asociación de la fauna con Juglans neotropica Diels. 48
3.2 Variables bioclimáticas y topográficas de *Juglans neotropica Diels*, en la provincia de Imbabura 50
3.2.1 Variables bioclimáticas 50
3.2.1.1. Temperatura. 50
3.2.2 Variable topográfico 53
CAPITULO IV 59
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES 59
5.1 Conclusiones 59
5.2 Recomendaciones 61
REFERENCIAS 62

Índice de tablas

Tabla 1 *Coordenadas delimitantes de la provincia de Imbabura en el sistema UTM WGS84, Zona 17S* 34

Tabla 2 *Medios y equipos empleados en el trabajo de campo* 37

Tabla 3 *Frecuencia y familias botánicas de especies vegetales asociadas a Juglans neotropica Diels, registrados en el área de estudio.* 45

Tabla 4 *Frecuencias de fauna mamífera y aves asociadas a la especie de estudio*. 48

Índice de figuras

Figura 1 *Mapa de Imbabura y sus cantones* 35

Figura 2 *Proceso para el modelamiento de especies forestales* 41

Figura 3 *Ubicación de los puntos de presencia de Juglans neotropica Diels, en la provincia de Imbabura.* 44

Figura 4 *Relación entre la variable de temperatura media anual (TMA) y el registro de presencia de Juglans neotropica Diels en la provincia de Imbabura.* 50

Figura 5 *Precipitacion anual y puntos de presencia de Juglans neotropica Diels en la provincia de Imbabura.* 52

Figura 6 *Elevacion y puntos de presencia de Juglans neotropica Diels en la provincia de Imbabura.* 53

Figura 7 *Pendientes y puntos de presencia de Juglans neotropica Diels en la provincia de Imbabura.* 55

Figura 8. *Distribución espacial potencial de Juglans neotropica Diels en la provincia de Imbabura.* 57

INTRODUCCIÓN

Problema de investigación

-Problemática de investigación

En la provincia de Imbabura *Juglans neotropica* Diels, experimenta una disminución notable dentro del territorio. Según Vallejos et al., (2023) atribuyen al uso no sostenible en artesanías, muebles, leña para los hogares y la expansión urbana en actividades agropecuarias. De manera complementaria, Sono et al., (2024) documenta que la matriz extractiva en ecosistemas locales se concentra en el tallado, seguido por ebanistería y muebles, en las parroquias San Antonio de Ibarra y San Francisco de Natabuela, consolidando un escenario de sobreexplotación sistémica.

La ausencia de información cartográfica sobre la distribución actual de la especie limita las estrategias efectivas de conservación y restauración, como también a la perdida de disponibilidad de material genético (Ramírez et al., 2025). Si bien *Juglans neotropica* Diels es representativo para integrarse en sistemas agroforestales, el turno biológico de esta especie es prolongada, alcanzando la madurez completa entre 30 y 50 años (Molina et al., 2003). Aunque la amplitud de su nicho ecológico en los Andes ecuatorianos sugiere un rango geográfico extenso, las poblaciones de esta especie enfrentan cuellos de botella demográficos por la fragmentación del paisaje (Vaca & Palacios, 2023).

La identificación de áreas prioritarias para la reintroducción de la especie en sitios adecuados no solo mitiga la pérdida de biodiversidad, sino que resguarda los vínculos culturales, ambientales y socioeconómicos que esta especie sostiene en la provincia de Imbabura (Fernández et al., 2023).

A nivel provincial, Imbabura tiene bajo protección 92.320,81 hectáreas, sin embargo, existe un 14,68% aproximadamente de intervención registrada en los bosques montano alto y

valles interandinos (GAD Provincial de Imbabura, 2015). Lo que fragmentó de manera sustancial el hábitat de *Juglans neotropica* Diels. A pesar de los estudios previos sobre aspectos fenológicos (Díaz & Vilema, 2023; Quinche & Ochoa, 2024) y también edafoclimáticos de la especie. En la provincia de Imbabura no existe un modelo predictivo de distribución espacial potencial que integre variables bioclimáticas, topográficas y edáficas, lo cual limita la planificación de estrategias de conservación y reforestación dirigida (Toro & Roldán, 2018; Palacios – Herrera et al., 2023).

El modelamiento de distribución de especies mediante algoritmos de máxima entropía (MaxEnt) constituye una herramienta validada para llenar esta carencia de información (Elith et al., 2011; Merow et al., 2013). A diferencia de modelos como BIOCLIM o GLM; MaxEnt opera exclusivamente con datos de presencia (sin requerir ausencias verdaderas), lo que hace especialmente adecuado para especies raras o con datos de distribución incompletos (Elith et al., 2011).

Formulación del problema

¿De qué manera la caracterización espacial y el modelo predictivo (MaxEnt) determinan la distribución potencial de *Juglans neotropica* Diels en función de variables ambientales en la provincia de Imbabura?

Justificación

A pesar de su importancia ecológica *Juglans neotropica* Diels, es catalogada como especie vulnerable a nivel nacional (León-Yánez et al., 2011) y en peligro según los parámetros de la Unión Internacional para la conservación de la naturaleza (UICN, 2012), debido a la sobreexplotación de madera, ampliación urbanística y agrícola, comprometen severamente su regeneración natural (Toro & Roldán, 2018). Desde una perspectiva ecosistémica la especie tiene un alto valor ecológico ya que desempeña un papel fundamental en la regulación hídrica, fijación de carbono, protección del suelo y la regeneración de recursos valiosos para las comunidades locales, así como para el enriquecimiento de los bosques secundarios (Ospina et al., 2003).

En el área cultural *Juglans neotropica* Diels se vincula tradicionalmente en comunidades kichwuas, pues esto fortalece la conexión con las practicas, ritos culturales y la identidad de la zona (Vallejos et al., 2023). Además de ser una madera muy apreciada en la ebanistería y escultura por su color, resistencia y fácil manipulación, también sus nueces usadas en la gastronomía, nogadas típicas del cantón de Ibarra y las técnicas tradicionales de tintura son la base de la economía (Eraso et al., 2026). En el campo de la medicina, la Organización Mundial de la Salud OMS (2013), reconoce que la medicina tradicional son un complemento principal para afrontar dolencias crónicas. En este tipo de medicina tradicional, el empleo de hojas de *Juglans neotropica* Diels, tiene un gran potencial (Montoya et al., 2003; Quiroz Martínez, 2013). Las infusiones a partir de la corteza y las hojas, ayuda a reducir problemas de diabetes o como antioxidante hepático, también para infecciones vaginales, gástricas, y problemas respiratorios como tos, bronquitis y asma, (Bussman & Glenn, 2010) además de servir en la curación de heridas cutáneas y en el tratamiento de llagas como calmante. (Chusquillo Calapiña, 2014).

Las comunidades rurales asentadas en los cantones de Ibarra, Cotacachi y Otavalo son los beneficiarios directos de esta investigación dada la importancia económica y cultural (Palacios-Herrera et al., 2023). A escala institucional, los GAD cantonales de la zona también se ven favorecidos dado que el análisis ofrece datos cruciales para diseñar políticas de conservación y restauración, lo que robustece las iniciativas de sostenibilidad (Ospina et al., 2003). Desde un punto de vista científico, el proyecto aporta información valiosa acerca de una especie poco investigada, lo que promueve nuevos estudios sobre la preservación de especies nativas y la gestión de ecosistemas en las regiones altoandinas. (Simbaña Brucil, 2023).

La investigación demostró alta viabilidad técnica, apoyada en un fuerte respaldo técnico con personal capacitado y una sólida base de datos geoespaciales de alta resolución y de libre acceso como: WorldClim v2.1 para variables bioclimáticas, SRTM para topografía, SoilGrids v2.0 para propiedades edáficas, SIG-Tierras para coberturas y uso del suelo y GBIF para registros de ocurrencia. Cuya detección de zonas apropiadas para la intervención se basó en el análisis multivariante de elementos ambientales; en el que las propiedades del suelo y el clima están correlacionadas con indicadores relacionados con la salud del ecosistema de *Juglans neotropica* (Fick & Hijmans, 2017; Poggio et al., 2021).

Con este propósito se incorporan herramientas geográficas de precisión como ArcGIS Pro y MaxEnt para cartografiar las interacciones ecológicas y las variables ambientales. Esto contribuye a solventar los obstáculos geográficos y las limitaciones en la recopilación de datos de campo en la zona altoandina. Esta planificación se ha fortalecido gracias a la colaboración con entidades públicas como el GAD Provincial de Imbabura y la Carrera de Ingeniería Forestal de la UTN (Palacios-Herrera et al., 2023)

Objetivos

Objetivo general

- Determinar la distribución espacial actual y potencial de *Juglans neotropica* Diels en la provincia de Imbabura.

Objetivos específicos

- Caracterizar florística y faunísticamente los sitios de presencia de *Juglans neotropica* Diels en la provincia de Imbabura, mediante el registro sistemático de la diversidad vegetal y animal asociada a cada individuo georreferenciado.
- Modelar la distribución espacial actual y potencial de *Juglans neotropica* Diels en la provincia de Imbabura mediante herramientas de SIG y el algoritmo de Máxima Entropía (MaxEnt)

Preguntas de investigación

- ¿Cuáles son las especies de flora y fauna asociadas a *Juglans neotropica* Diels en la Provincia de Imbabura*?*
- ¿Cuál es la distribución espacial actual y potencial de *Juglans neotropica* Diels en la Provincia de Imbabura?

CAPITULO I

MARCO TEORICO

1.1 Distribución geográfica de *Juglans neotropica* Diels

La especie *Juglans neotropica* Diels, conocida comúnmente como nogal andino, es una especie arbórea caducifolia nativa de los bosques montanos de los Andes tropicales, con una distribución natural que se extiende desde Venezuela hasta Bolivia (Stone et al., 2009). En Ecuador, su presencia se extiende a lo largo de la Sierra con registros en las provincias de Loja, Azuay, Chimborazo, Bolívar, Tungurahua, Pichincha y Napo (Palacios – Herrera et al., 2023).

Asimismo, se registra en valles interandinos y cordilleras. En Colombia, su presencia se ha documentado en los departamentos de Cundinamarca, Boyacá, Nariño y Santander. En Perú, se localiza principalmente en las regiones de Amazonas, Cajamarca y San Martín. (Ramos et al., 2025).

1.2 Fenología de la especie

En los fragmentos de bosque del departamento del Quindío, Bedoya & Guevara (2002) analizaron la fenología y estructura poblacional de *Juglans neotropica* Diels. Los procesos reproductivos de floración y fructificación ocurren al inicio del periodo lluvioso, lo que favorece la polinización y producción de frutos, facilitando la dispersión de semillas. Así mismo, se identificó que el éxito reproductivo y la madurez floral están influenciados por factores como la densidad de la población y el grado de fragmentación del hábitat.

La defoliación de la especie tuvo lugar a partir del 15 de diciembre, aumentando progresivamente a su máxima expresión en el mes de enero. Entre los sitios estudiados los árboles de lindero exhibieron mayor actividad en la fenofase de floración, mostrando el punto más alto en febrero. En contraste, los individuos de silvicultura urbana presentaron su mayor

proporción de botones florales en ese mismo mes, lo que se evidencia una sincronización fenológica independiente del sistema de manejo (Vallejos et al., 2023).

En otra investigación realizada dentro de cuatro lugares de la provincia de Imbabura, sobresale el estudio en silvicultura urbana en árboles dispersos, en donde el pico de floración fue en mayo y de fructificación a mediados de junio. (Diaz & Vilema, 2023)

1.3 Clasificación Taxonómica

Familia: Juglandaceae

Género: Juglans

Especie: *Juglans neotropica* Diels.

Nombre científico: *Juglans neotropica*

Nombre común: nogal andino, tocte

Registro de herbario: Identificación taxonómica, verificada en el Herbario de la Universidad Técnica del Norte (HUTN) (Paredes et al., 2023)

1.4 Requerimientos ecológicos

1.4.1 Altitud

Múltiples estudios a escala nacional (Carvajal et al., 2023; León-Yánez et al., 2011) corroboran que *Juglans neotropica* Diels se distribuye en la franja altitudinal entre 1 600 y 3 100 m.s.n.m. dentro de la cordillera andina. Los incrementos altitudinales directamente condicionan a las adaptaciones morfológicas, alterando la densidad y las tasas de crecimiento fustal. Paralelamente, en ecosistemas de menor cota (Ambuquí, 1 600 m.s.n.m.), el nogal despliega una eficiencia fisiológica superior frente a condiciones termométricas y de déficit hídrico, evidenciando una notable plasticidad auto ecológica (Carvajal et al., 2023). Esta

varianza acoplada a regímenes de precipitación estacional justifica su presencia predominante en relictos agroforestales en los cantones de Ibarra, Otavalo, Cotacachi y Antonio Ante (Simbaña Brucil, 2023).

1.4.2 Temperatura

La especie de *Juglans neotropica* Diels, presentó mejor crecimiento en ambientes frescos, con temperaturas promedio entre 10 °C y 24 °C, las cuales son propias de Ecuador (Fundación Forestal Juan Manuel Durini, 2010). Esta especie requiere condiciones ambientales particulares como: climas templados, temperaturas medias superiores a 13°C con precipitaciones moderadas a intensas, suelos con buen drenaje ricos en nutrientes y con acidez moderada. Si bien tolera sombra cuando es joven, necesita alta luminosidad en su fase madura. Su ubicación espacial influye directamente en su ciclo de vida, incluyendo las etapas de floración y producción de frutos. (Díaz & Vilema, 2023).

1.4.3 Precipitación

La precipitación anual influye significativamente en la fenología de *Juglans neotropica* Diels, varía entre 700 mm y 1200 mm**,** suficiente para el cultivo de nogal si se combina con sistemas de riego en temporadas secas, en bosques montanos del sur de Ecuador. En el sitio "La Argelia", los ciclos de floración y fructificación están estrechamente sincronizados con los picos de lluvia. El estudio demuestra que, sin una pluviometría estacional adecuada, la especie no puede completar su ciclo reproductivo, lo que evidencia su alta dependencia de las condiciones climáticas para su reproducción. (Ordoñez et al., 2001).

1.5 Requerimientos edáficos

1.5.1 Textura

El nogal andino (*Juglans neotropica*) se desarrolla favorablemente en suelos con textura franco y franco arenosa**.** Esta textura permite un adecuado crecimiento radicular y evita problemas de compactación o empozamiento. Además, la especie requiere suelos profundos y bien drenados**,** lo que favorece su desarrollo en zonas montañosas de entre 1 800 y 3 000 metros sobre el nivel del mar. También prefiere suelos ligeramente ácidos a neutros y no tolera condiciones de suelos calcáreos o muy alcalinos (Chiza Alvear, 2023)

Estas características edáficas son clave para el establecimiento y la propagación exitosa del nogal andino, especialmente en proyectos de reforestación y conservación. Conocer y respetar sus requerimientos texturales es fundamental para garantizar su desarrollo saludable y su permanencia en los ecosistemas andinos (Chiza Alvear, 2023)

1.5.2 Drenaje

En lo que respecta a *Juglans neotropica* Diels, requiere suelos con muy buen drenaje, pues sus raíces principales crecen principalmente en los primeros 90 cm del perfil del edáfico. Aunque tolera lugares temporalmente húmedos, un nivel freático superficial (por debajo de 50 cm) puede dañar gravemente el desarrollo radicular. Según el documento, los suelos mal drenados o con alto contenido de arcilla reducen la aireación y pueden causar asfixia en las raíces. Igualmente, los suelos compactados o que presentan capas impermeables dificultan el crecimiento óptimo del sistema radicular, lo que afecta el diámetro y salud de la copa. Para asegurar un desarrollo adecuado, se recomiendan suelos sueltos y permeables, sin capa dura ni alta pedregosidad, lo que favorece disponibilidad de agua, oxígeno y estabilidad estructural del árbol. (Instituto de Innovación Agraria [INIA], 2015).

1.5.3 pH

Un pH cercano a la neutralidad (entre 6 y 7) fue recurrente en áreas con alta presencia de la especie, ya que permite una mejor disponibilidad de nutrientes esenciales. Así mismo, suelos con profundidad adecuada y baja compactación favorecen el crecimiento radicular y el desarrollo de plántulas. Estos factores edáficos generan condiciones favorables para el establecimiento y desarrollo de *Juglans neotropica*. El estudio sugiere que dichos parámetros sean considerados como criterios técnicos clave en los planes de reforestación, dado que incrementan la probabilidad de éxito en la recuperación de ecosistemas andinos que han sufrido degradación. (Palacios-Herrera., et al 2025)

Los suelos que presentan buena permeabilidad y textura franca favorecen su crecimiento de la especie, mientras que altas concentraciones elevadas de ciertos minerales no representan un beneficio para su desarrollo. Además, factores del terreno como la inclinación y la estructura del dosel también influyen en su dinámica de crecimiento (Ortiz & Honorio, 2021).

1.5.4 Caracterización del terreno (cobertura)

La cobertura del suelo es esencial para el desarrollo óptimo de la especie *Juglans neotropica* Diels en Imbabura, según Cabascango Cabascango (2011) la existencia de un sustrato con una gran cantidad de materia orgánica (humus) promueve la retención de agua y el suministro de nutrientes esenciales para que las plántulas crezcan. De igual modo un suelo con textura adecuada y buen drenaje favorece la oxigenación radicular, es un aspecto fundamental para el establecimiento de la especie. El manto protector del suelo también contribuye a atenuar las variaciones ambientales inmediatas, evitando cambios repentinos de humedad y temperatura. Estos factores resultan clave para garantizar la regeneración y

sostenibilidad de *Juglans neotropica* Diels en su hábitat natural, lo que subraya la importancia de conservar y mejorar la calidad del sustrato en proyectos de restauración ecológica.

1.6 Importancia del nogal en el medio

En una investigación reciente Valverde et al., (2023) destacan la importancia de *Juglans neotropica* como especie clave en la silvicultura urbana de la parroquia San Francisco, cantón Ibarra. En su estudio añade que esta especie ayuda a mejorar el microclima de la ciudad al proporcionar sombra y regular la temperatura.

También sirve como refugio y a la vez fuente de alimento para insectos y aves. De esta manera fomenta un balance entre las áreas verdes y urbanas y así mismo en la preservación de la vegetación y fauna relacionada. La conservación y manejo sostenible del nogal son esenciales para mantener estos beneficios ambientales y socioeconómicos en los ecosistemas forestales. (Gauthier & Jacobs, 2011)

Dichos estudios acerca de *Juglans neotropica*, siendo nativa desempeña roles funcionales importantes en la conservación de suelos, la regulación hídrica y soporte de fauna local**,** así también socioeconómica, ya que puede integrarse a sistemas agroforestales sostenibles. Toro & Roldán (2018); Envol Vert (2021) coinciden en que su conservación exige acciones como la propagación in situ y ex situ con la participación comunitaria en la recolección de semillas y uso responsable de sus derivados**.**

1.7 Impactos cultural, social y económico

Actualmente, el nogal es una especie escasa, relativamente difícil de encontrar. Tiene múltiples usos, como: genera madera de alta calidad; produce una nuez muy apetecida; la corteza, las hojas y los frutos son ricos en taninos que se usan como tintes para textiles; es utilizada en varias áreas de la medicina. (Ecuador Forestal, 2010).

Está estrechamente ligado a la tradición artesanal y a la identidad local. La madera de nogal es muy valorada por los artesanos de San Antonio de Ibarra, un centro reconocido por su producción artesanal, especialmente en la fabricación de muebles y objetos decorativos. Este auge artesanal, que demandaba gran cantidad de madera, llevó a la disminución significativa de los nogales en Imbabura hacia finales de los años setenta, cuando el nogal comenzó a escasear en la región (Almeida & Amaru, 2021).

Imbabura forma parte del legado ancestral de los pueblos kichwas, vinculándose con su cosmovisión andina, identidad, organización comunitaria y tradiciones que han resistido a la colonización y procesos de aculturación, fortaleciendo su sentido de pertenencia y la conservación de su patrimonio cultural. (Benítez et al., 2016). El nogal andino, cultivado en alta y baja densidad, muestra que los costos iniciales son mayores en baja densidad, pero el rendimiento por árbol es superior; mientras que el rendimiento por hectárea es mayor en alta densidad. La relación costo-beneficio es mejor en baja densidad, lo que implica mayor rentabilidad a largo plazo para los productores. (Fernández – Chávez et al, 2021)

Esta especie se caracteriza por ser una fuente de interés económico por su tipo de madera, ya que *Juglans neotropica* Diels, se emplea en diferentes medios de aprovechamiento. Por lo que el impacto económico del nogal andino en comunidades andinas se refleja en su integración dentro de sistemas agrícolas diversificados, donde contribuye a la subsistencia y estrategias no monetarias, fortaleciendo la economía campesina mediante el

manejo sostenible de recursos y la complementariedad con otros cultivos tradicionales. (Ledezma Rivera, 2003).

1.8 Coexistencia de fauna y flora en su entorno

La especie desempeña servicios ambientales esenciales, como restauración de suelos degradados, regulación hídrica, sombra en sistemas agroforestales, y soporte para fauna y flora asociada. (Toro & Roldán, 2018). Por otra parte, esta integración ecológica promueve un equilibrio entre los espacios verdes urbanos y la conservación de la fauna y flora asociada, lo que resulta fundamental para la resiliencia ambiental de la ciudad.

Estudios han examinado las interrelaciones ecológicas del nogal andino en dos poblaciones de Imbabura: un monocultivo en Natabuela y un margen natural en Bellavista. Mediante parcelas de muestreo y análisis fisicoquímicos del suelo durante seis meses, identificó 1 071 individuos vegetales pertenecientes a diversas familias. En el cual los acompañantes en el margen (índice de Shannon ≈ 0,85), junto con 42 insectos y 50 aves. En cambio, la plantación presentó mayor riqueza de plantas (Shannon ≈ 1,01), pero solo 42 insectos y 29 aves. La temperatura media fue de 19,7 °C (Gonzalón Linto, 2024)

En ambos ambientes, en los cuales sus resultados enfatizan que ambientes más diversos favorecen una mayor presencia de fauna, mientras que la densidad vegetal es mayor en monocultivos. En conjunto, el nogal andino actúa como modulador de diversidad, creando microhábitats distintos según el contexto paisajístico, lo que incide sobre la riqueza taxonómica de insectos y aves. (Gonzalón Linto, 2024).

En un estudio complementario, Simbaña Brucil (2023) evaluó la biodiversidad (fauna y flora) asociada a *Juglans neotropica* en dos clases de agroecosistemas: los linderos y las plantaciones puras. Mediante el uso de transecto y parcelas de muestreo, se documentó la

composición floristica (árboles, arbustos, hierbas) y se llevó a cabo un censo de macrofauna enfocada en aves e insectos. En las plantaciones puras se registraron 665 individuos vegetales, con predominancia de las familias Fabaceae, Cyperaceae, Poaceae y Juglandaceae, junto con 109 aves y 147 insectos. En los linderos se contabilizaron 251 plantas distribuidas en una mayor diversidad familiar (Rutaceae, Casuarinaceae, Malvaceae y Juglandaceae), 675 insectos y 158 aves con predominancia de los órdenes Passeriformes Trochiiformes, Columbiformes y Falconiformes.

Además, se midieron microclima y propiedades del suelo, encontrando que estos parámetros favorecen el desarrollo del nogal y su comunidad asociada. Llegando a concluir que *Juglans neotropica* aporta alto valor ecológico al promover diversidad de flora y fauna en diferentes sistemas.

Este estudio fenológico también exploró cómo el nogal se relaciona con su entorno vegetal y animal, el documento aclara la fenología del nogal en lo que mostró mayor sincronización en floración, fructificación y defoliación, lo que sugiere interacciones con la biodiversidad circundante. Además, la densidad y diversidad vegetal cercana parecen crear microambientes propicios, que podrían favorecer polinizadores e insectos dispersores, aunque no se cuantificaron explícitamente. Este estudio destaca que estas formaciones más heterogéneas potencian el desempeño ecológico del nogal. (Vallejos et al., (2023).

1.9 Registros de ocurrencia

1.9.1 Registros documentados GBIF

La plataforma Global Biodiversity Information Facility (GBIF) provee acceso a datos globales sobre la distribución de *Juglans neotropica*. GBIF acoge datos confirmados de presencia entre los 1 600 y los 3 100 m.s.n.m, lo cual muestra el rango montano característico

de la especie.

Además, apoya su taxonomía y posibilita la creación de mapas detallados y el análisis del modelado de nichos ecológicos, lo que es esencial para determinar zonas prioritarias para la restauración y conservación. El empleo de GBIF permite una aproximación cuantitativa, reproducible y coordinada a nivel mundial para entender la biogeografía y los peligros que enfrenta esta especie en peligro. Lo cual respalda las políticas medioambientales y las estrategias de manejo basadas en evidencia. (Global Biodiversity Information Facility [GBIF] Secretariat, 2025).

1.9.2 Observación directa y conocimiento tradicional

Se consideran las áreas donde se ha verificado la presencia de la especie a través de exploraciones y estudios de campo, incluyendo la identificación in situ de ejemplares. Además, se toma en cuenta las ubicaciones señaladas por los moradores locales, quienes, a través de su experiencia y conocimiento de su entorno, ayudan aportar información sobre su presencia (Vallejos et al., 2023).

1.10 Modelos de distribución (MaXent)

MaxEnt es un algoritmo de aprendizaje automático que estima la distribución de probabilidad de máxima entropía sujeta a restricciones derivadas de datos de presencia de la especie y variables ambientales (Phillips et al., 2006).

Diversas investigaciones han aplicado el algoritmo de máxima entropía (MaxEnt) para modelar la distribución potencial de especies arbóreas andinas. En zonas montañosas del norte del Ecuador, Delgado & Gavilanes (2020) integraron datos climáticos de elevación, humedad y propiedades del terreno para identificar áreas prioritarias con alta aptitud para la regeneración natural y conservación de *Juglans neotropica*.

En unos estudios realizados por Wang & Wang (2023), analizaron el hábitat ideal de *Juglans cathayensis* utilizando el modelo MaxEnt con datos climáticos actuales y futuros. Determinaron que esta especie encuentra condiciones óptimas en más de 48 000 km² dentro de Sichuan. Además, ante el cambio climático, su distribución tiende a desplazarse altitudinalmente entre 22 y 35 km. Las variables más influyentes en su presencia fueron la temperatura y la precipitación, confirmando que estos factores son claves en la definición de su área potencial de crecimiento.

Por otra parte, en una investigación centrada en predecir la distribución geográfica de especies arbóreas endémicas en la región andina del Ecuador, mediante el uso del algoritmo MaxEnt. (Alberdi Nieves, 2021). Este modelo se construyó a partir de registros de presencia junto con variables ambientales, como condiciones climáticas y rasgos topográficos. En el cual reflejaron una alta capacidad predictiva del modelo, resaltando la influencia de la temperatura y las precipitaciones como determinantes ecológicos principales. También se identificaron territorios con alto potencial para la conservación, muchos de ellos fuera de zonas protegidas actuales.

En un análisis, aplicaron el modelo MaxEnt empleando el software R, con el fin de estimar áreas aptas para seis especies nativas de los Andes. Tomando en cuenta la alteración por tala e incendios. Para esto usaron registros geográficos de presencia, datos climáticos y características de cobertura del terreno para construir y validar sus modelos, identificando zonas vulnerables. (Rey Jumbo, 2023).

Por su parte, Kübler et al., (2016) contrastó MaxEnt con el Análisis Factorial de Nicho Ecológico (ENFA), utilizando variables topográficas como altitud y pendiente para predecir la distribución de 16 especies arbóreas en un ecosistema montano. Los dos estudios que se empleó sobre ubicaciones y medio ambiente facilitan la creación de tácticas eficaces

para la restauración y gestión forestal. De modo complementario, Zhang et al., (2023) aplicaron MaxEnt en una investigación para analizar la aptitud de los hábitats de especies forestales en la cordillera de Lüliang (China). Demostrando que los factores del suelo, la investigación demuestra que emplear datos de distribución reales mejora la precisión del modelado al detectar áreas idóneas para cada especie.

En una investigación explican cómo el rendimiento del modelo MaxEnt depende en gran medida de las decisiones tomadas durante su configuración. Destacan que el uso adecuado de datos de presencia, variables ambientales y la correcta definición del área de fondo son cruciales. Subrayan que modificar los parámetros del modelo, como las funciones y el nivel de regularización, mejora la precisión y evita el sobreajuste. (Merow et al.,2013).

1.10.1 Proceso de modelado

En un estudio se comparó cuatros datos climáticos en los que incluían WorldClim v2.1 y SCM. En el que para modelar la distribución de *Pinus cembroides* usaron el algoritmo de MaxEnt y registro del inventario Nacional Forestal y del Sistema Nacional de Información sobre Biodiversidad. Pese a distintas resoluciones espaciales, los valores arrojados fueron de un AUC de 0.8, lo que indica la confiabilidad. Además, indicaron que la distribución de la especie se limita por las temperaturas medias de los trimestres más húmedo y seco. Por lo que tanto WorldClim v2.1 y SCM presentaron una mayor correlación con las variables bioclimáticas que fueron seleccionadas. En los cuatro modelos analizados, se identificó una alta probabilidad de presencia de la especie, superior al 70 %, principalmente en las regiones de la Sierra Madre Oriental y Occidental. Los investigadores destacan la importancia de utilizar bases de datos climáticos con una resolución espacial mínima de 15 km^2. Para este

tipo de análisis, ya que esto constituye un paso fundamental para orientar acciones de conservación y manejo adecuado. (Marínez et al., 2023).

1.10.2 Validación de datos

La comprobación de los modelos en MaxEnt es fundamental para asegurar la exactitud en la predicción del hábitat de las especies. De acuerdo con Elith et al., (2011), esta verificación se lleva a cabo separando los datos de presencia en grupos de entrenamiento y validación, lo cual posibilita la evaluación de la efectividad del modelo. Para analizar el desempeño predictivo se utilizan indicadores como el área bajo la curva (AUC) y las curvas de precisión y recuperación. Del mismo modo, la adecuada elección de variables y validación cruzada ayudan a prevenir el sobreajuste y a incrementar la habilidad del modelo para generalizar.

El modelado de distribución potencial de especies de árboles con MaxEnt requiere un procedimiento riguroso que comienza con la preparación de los datos. En el que se escogen variables ambientales importantes y se suprimen las que tienen una correlación elevada para evitar la redundancia. (Lu et al., 2022)

La transformación de datos a formatos compatibles y la definición precisa de áreas de muestreo fortalecen la entrada para el modelo (Merow et al., 2013). En la configuración, se ajustan parámetros como funciones (“features”) y regularización para optimizar la predicción y evitar sobreajuste.

CAPITULO II

MATERIALES Y MÉTODOS

2.1 Tipo de investigación según los criterios

La investigación adopta un enfoque mixto, combinando enfoques cualitativos y cuantitativos. El aspecto cualitativo se centró en describir las particularidades ecológicas de la especie *Juglan neotropica* Diels y su interacción con la flora y fauna asociada. Por otra parte, el análisis cuantitativo se utilizó para evaluar la distribución espacial de la especie, empleando Sistemas de Información Geográfica (SIG) y modelos predictivos como MaxEnt, que integraron los datos de presencia de la especie con variables ambientales para estimar su distribución potencial.

De acuerdo con Hernández-Sampieri & Mendoza (2018) el enfoque exploratorio es el apropiado para el estudio poco conocido o con escasa información. Por tanto, esto permitió analizar la situación de *Juglans neotropica* Diels, una especie de relevancia cultural y ecología, cuya delimitación espacial y comportamiento en la naturaleza no han sido estudiados con precisión.

La investigación presenta un diseño No experimental, ya que el investigador observa los fenómenos y sus manifestaciones en el medio natural, sin llegar a manipular las variables de ninguna manera (Jilcha Sileyew, 2020). El diseño de la investigación es de carácter transversal, ya que describe la distribución actual de la especie en función de las condiciones biofísicas y ecológicas en un momento único sin realizar seguimiento. (Snyder, 2019). El levantamiento de información primaria se desarrolló íntegramente en el campo, dentro de los seis cantones pertenecientes a la provincia de Imbabura.

2.2 Ubicación del lugar

2.2.1 Política

El estudio se llevó a cabo dentro de la provincia Imbabura que cuenta con seis cantones; Ibarra su capital con una superficie de 1095,16 km2, Otavalo con 500km2, Cotacachi con 1690,85 km2, Antonio Ante con 80,19 km2, Pimampiro con 440,04 km2 y San Miguel de Urcuquí con 781,68 km2, los cuales cada uno cuenta con un gobierno autónomo descentralizado (GAD), la provincia forma parte de la zona 1 del Ecuador (Gobierno Autónomo Descentralizado Provincial de Imbabura, 2015).

2.2.2 Geografía del sitio

A continuación, se presenta una tabla en donde se observa las coordenadas delimitantes de la provincia de Imbabura con el sistema de coordenadas de referencia UTM WGS84, Zona 17S.

Tabla 1

Coordenadas delimitantes de la provincia de Imbabura en el sistema UTM WGS84, Zona 17S

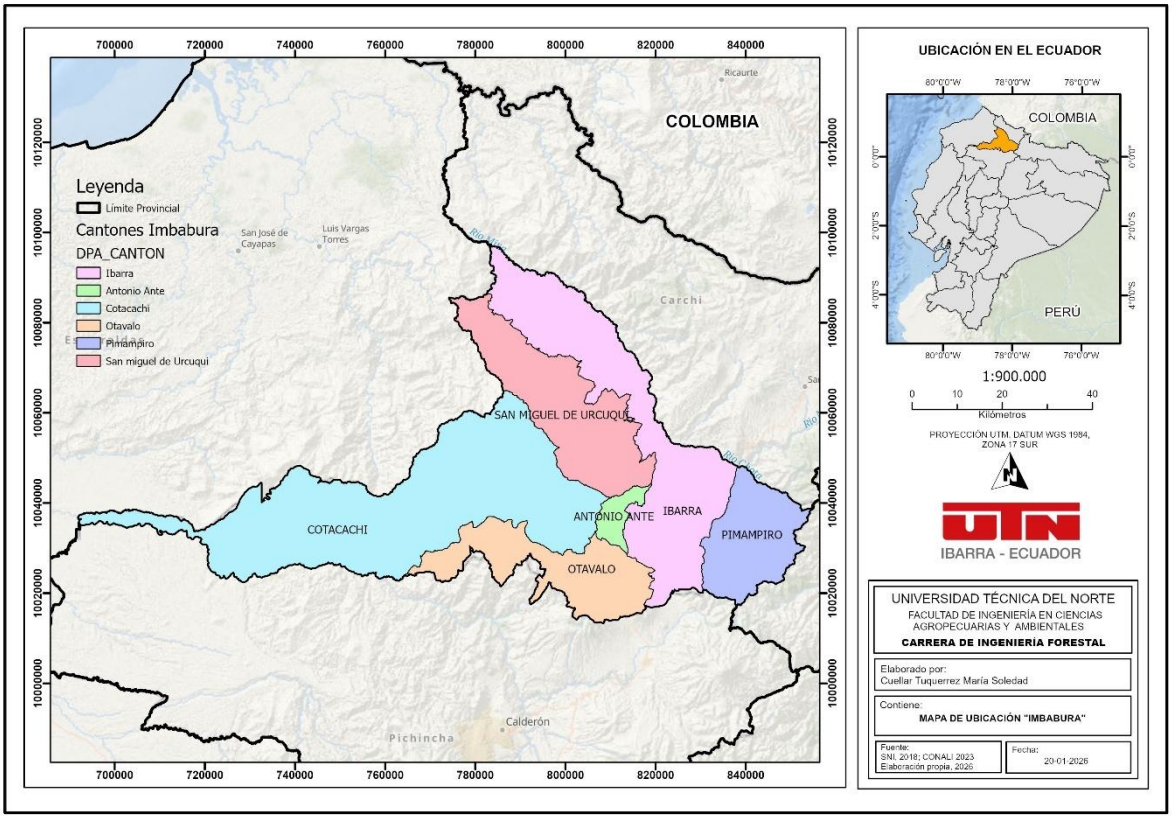
Límite	Coordenadas X (m)	Coordenadas Y (m)
Norte		10 096 920
Sur		10 013 403
Oeste	691 971	
Este	855 076	

Nota: Datos obtenidos de ArcGis Pro de la Provincial de Imbabura (2026). Fuente: Elaboración propia.

Seguidamente se presenta el mapa de ubicación de Imbabura y sus cantones.

Figura 1

Mapa de Imbabura y sus cantones



Nota: La figura muestra la provincia de Imbabura y sus cantones. Fuente: elaboración propia (2026).

2.2.3 Límites

Imbabura se encuentra situada al Norte de la Sierra del Ecuador; el área de estudio se encuentra a 115 km al noreste de Quito, siendo sus límites al norte con la provincia del Carchi y noroeste con Esmeraldas, al sur con Pichincha, al este con Sucumbíos por lo que cuenta con una superficie de 4599. km2 (Flores Reyes, 2012).

2.3 Caracterización edafoclimática del lugar

2.3.1 Suelo

Los suelos de la provincia de Imbabura tienen una textura franco-arenosa o franco-arcillosa, adecuada para el crecimiento del nogal ya que permite un buen drenaje y aireación. De acuerdo con el Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (Soil Survey Staff, 2014), estos suelos, contienen niveles altos en materia orgánica y nutrientes dependiendo su ubicación, lo cual beneficia en el desarrollo del nogal. Varía entre ligeramente ácido a neutro (5.5 a 7.0), teniendo suelos profundos de (>1 metro) que son óptimos, ya que las raíces del nogal necesitan espacio suficiente para crecer y absorber nutrientes.

2.3.2 Clima

Los investigadores Quinche & Ochoa (2024) evaluaron las variables climáticas que afectan las fases de desarrollo de *Juglans neotropica* Diels, en la provincia de Imbabura. A lo largo de doce meses, observaron diez árboles, registrando su comportamiento fenológico mediante una escala descriptiva, en donde detectaron los procesos de floración y formación de frutos. Los cuales se dieron entre noviembre y diciembre, meses en los que se registraron temperaturas cercanas a 18 °C, precipitaciones de unos 154 mm y un promedio de radiación solar del 27 %. Estas variables climáticas resultaron clave para propiciar la reproducción de la especie. La temperatura atmosférica en Imbabura tiene un promedio entre 12°C y 24°C, sin embargo, presenta variaciones significativas a lo largo del año, los meses más lluviosos del año generalmente son entre marzo y abril, teniendo como temporada seca desde junio hasta septiembre. La radiación solar en Imbabura favorece el crecimiento de árboles frutales como el nogal, siempre que haya un manejo adecuado para evitar el estrés hídrico en épocas de alta insolación (Ospina et al., 2003).

2.4 Materiales e insumos:

En el desarrollo de la investigación se utilizaron materiales de campo, equipos y software que fueron necesarios para el estudio y procesamiento de datos.

Tabla 2

Medios y equipos empleados en el trabajo de campo

Materiales de campo	Equipos	Software
Cinta métrica	GPS-Móvil	QField v3, koboCollect, Trees
	Teléfono móvil	Microsoft Office365
	Computador	ArcGis Pro-3.2, MaxEent v3.4.4,

Fuente: Elaboración propia

2.5 Métodos, técnicas e instrumentos.

2.5.1 Universo – población

El universo de estudio comprende a todas las especies de *Juglans neotropica* Diels dentro de las áreas geográficas a nivel provincial donde podría potencialmente establecerse, considerando las condiciones ambientales adecuadas para su desarrollo. Que se define como el conjunto de áreas en todos los cantones que presentan las condiciones ambientales (climáticas, edáficas y topográficas) propicias para la presencia de *Juglans neotropica* Diels.

La muestra está constituida por los puntos específicos dentro de la provincia de Imbabura donde se ha confirmado la presencia de *Juglans neotropica* Diels, ya sea mediante registros en bases de datos como GBIF verificaciones en campo o información proporcionada por habitantes locales. (Vallejos et al., 2023). Dentro del muestreo es de tipo no probabilístico e intencional, puesto que *Juglans neotropica* presenta una distribución dispersa.

2.5.2 Área de estudio – selección – registro

El estudio se desarrolló en la provincia de Imbabura, ubicada en el norte de Ecuador, caracterizada por una diversidad altitudinal que oscila entre los 600 y 4939 m s.n.m., con presencia de ecosistemas como bosques montanos, páramos y zonas agrícolas. La región presenta una variabilidad climática significativa, con precipitaciones anuales que varían entre 340 y 3000 mm y temperaturas promedio entre 10 y 25 °C. (Gobierno Autónomo Descentralizado de la Provincia de Imbabura, 2015)

2.6 Caracterización de la flora y fauna

En el trabajo de campo se tomó las coordenadas *in situ* de la presencia de la especie mediante barridos prospectivos en los seis cantones de la provincia de Imbabura, empezando desde el cantón de Urcuquí.

Para garantizar la precisión posicional, se implementó la arquitectura móvil de recolección de datos de KoboToolbox. Para los datos primarios de presencia de la especie se tomaron en cuenta las variables cuantitativas (DAP, altura total, área basal, coordenadas) también se tomó variables cualitativas como: la fauna y flora asociada a la especie, el tipo de suelo, el sistema de localización, el estado fitosanitario clasificado en enfermo o sano y el tipo de fuste sea recto o torcido. Para ello se realizó una observación visual, alrededor del árbol, en donde se tomó en cuenta todas las especies de flora y asimismo para la fauna en el radio de 10 m. (Anexo 1).

Los datos secundarios fueron obtenidos de la base de datos Global biodiversity Information Facility (GBIF) y fueron verificados en campo su presencia.

Posteriormente se repitió la forma de toma de datos para Pimampiro, Ibarra, Antonio Ante, Cotacachi y se finalizó en el cantón Otavalo; en cada sitio que se visitó se tomaron las mismas variables para los individuos encontrados.

2.7 Modelación de la distribución espacial actual y potencial

2.7.1 Obtención y procesamiento de información ambiental de la zona

Una vez recolectado los puntos de presencia de *Juglans neotropica* Diels en las áreas de estudio, para crear el modelo de distribución potencial, es necesario tener capas ráster de las variables ambientales a nivel provincial. En este estudio se descargaron 42 variables ambientales de diferentes fuentes de información complementarias tales como: 26 bioclimáticas, 6 topográficas, 8 edáficas, 1 de cobertura y uso de suelo y 1 de unidades geopedológicas.

2.7.1.1 Variables Bioclimáticas

Las variables climáticas fueron adquiridas de WorldClim en su versión 2.1 (Anexo 2) https://www.worldclim.org/data/worldclim21.html con una resolución de 30 segundos de arco (aproximadamente 1 km). Estas variables se originan de las interpolaciones de precipitación y temperaturas mensuales del lapso 1970 – 2000, y abarcan situaciones climáticas significativas para la eco fisiología de las plantas, como presión de vapor de agua, velocidad del viento y radiación solar. (Fick & Hijmans, 2017).

2.7.1.2 Variables Topográficas

El sensor Alos Palsar, a través de la plataforma EarthData disponible en Alaska Satelite Facility (ASF) https://search.asf.alaska.edu/ proporcionó el Modelo Digital de elevación con una resolución de 12.5m, con herramientas de análisis espacial en ArcGIS se generaron las capas correspondientes a pendiente dirección de flujo y aspecto. (Anexo 3).

2.7.1.3 Variables edáficas

Se descargaron las fracciones granulométricas del suelo (arcilla, arena y limo) las cuales fueron extraídas de SoilGrid versión 2.0 con una resolución de 250 m y una profundidad de 0 – 30 cm, que son representativas de la zona radicular de *Juglans neotropica*, como también la textura del suelo, pH. (Anexo 4) https://soilgrids.org/

2.7.1.4 Variables de caracterización de terreno

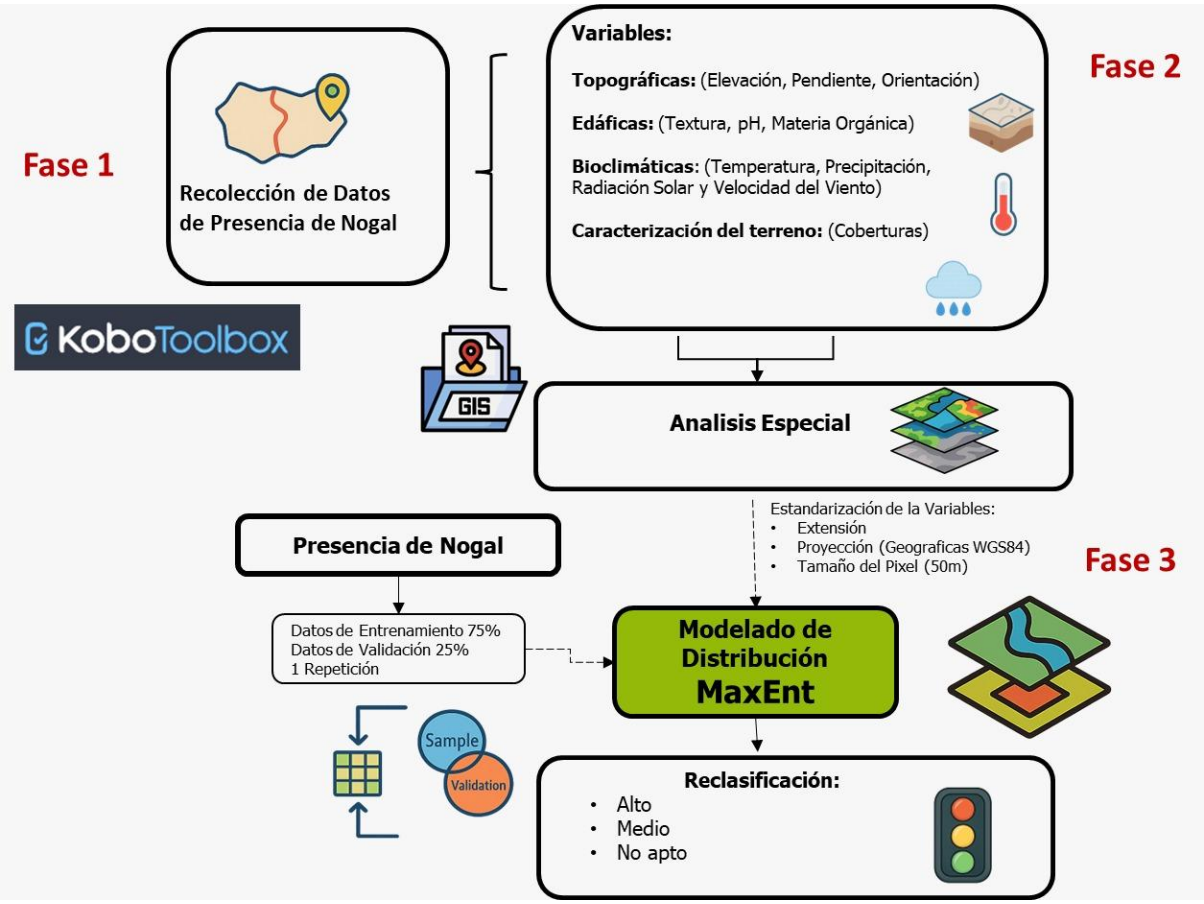
Este es un sistema geoespacial el que proporcionó información detallada acerca del uso y cobertura del suelo, así también como características geo pedológicas (estructura, composición y dinámica del suelo), esto se lo obtuvo directamente del Sistema Nacional de Información de tierras (SIGTIERRAS) http://www.sigtierras.gob.ec/. Esta información se basó en la interpretación de imágenes satelitales y del trabajo en el campo y se generó a escala 1:25.000 (Anexo 5).

2.7.2 Uniformización de los datos espaciales

Estas 42 variables fueron reproyectadas al sistema de coordenadas geográficas WGS84, posteriormente recortadas al límite administrativo de la provincia de Imbabura y, finalmente, se estandarizó su resolución espacial a 50 metros mediante el método de interpolación bilineal con el fin de uniformizar los datos espaciales para asegurar la coherencia espacial entre capas y la validez del modelo.

Figura 2

Proceso para el modelamiento de especies forestales



Fuente: Elaboración propia (2026)

2.7.2 Modelación de la distribución potencial

Para modelar la distribución potencial de la especie se utilizó el algoritmo MaxEnt en su versión 3.4.4 (Phillips et al., 2006). Partiendo de un total de 152 individuos registrados en campo, se realizó un proceso de depuración previo a la modelación. Este consistió en la aplicación de un criterio de espaciamiento mínimo de 50 metros entre registros, con el fin de reducir la autocorrelación espacial y evitar sesgos en el modelo. Como resultado, se seleccionaron 39 puntos de presencia, correspondientes a aquellos registros que cumplieron con el umbral de distancia establecido y superaron los controles de calidad en la georreferenciación. Estos datos se dividieron en un 75% para entrenamiento del modelo y el 25% para su validación.

El modelo fue evaluado usando el Área bajo la curva (AUC), en el cual si es cercano a 1 significa que el modelo es preciso y se ajusta bien, por el contrario, si el AUC es menor a 0,5 sugiere que el modelo no es relevante (Phillips et al., 2006).

A pesar de emplear un tamaño de muestra reducido (39 registros), este tipo de modelación ha demostrado ser robusto siempre que los datos sean representativos del área de estudio. Durante el preprocesamiento, se diferenciaron las variables continuas (climáticas, topográficas y edáficas) de las categóricas (cobertura y geopedología).

Posteriormente se realizó una primera corrida en MaxEnt con el objetivo de evaluar la contribución individual de cada variable ambiental, identificando aquellas con mayor influencia en la predicción de la distribución de *Juglans neotropica* Diels. Con base en estos resultados, se seleccionaron las variables más relevantes y se excluyeron aquellas con contribución nula o redundante, a fin de reducir la complejidad del modelo y evitar la incorporación de información redundante. Finalmente, las variables seleccionadas fueron

empleadas en una segunda corrida en MaxEnt, lo que permitió obtener un modelo más preciso y con mejor capacidad de ajuste.

CAPITULO III

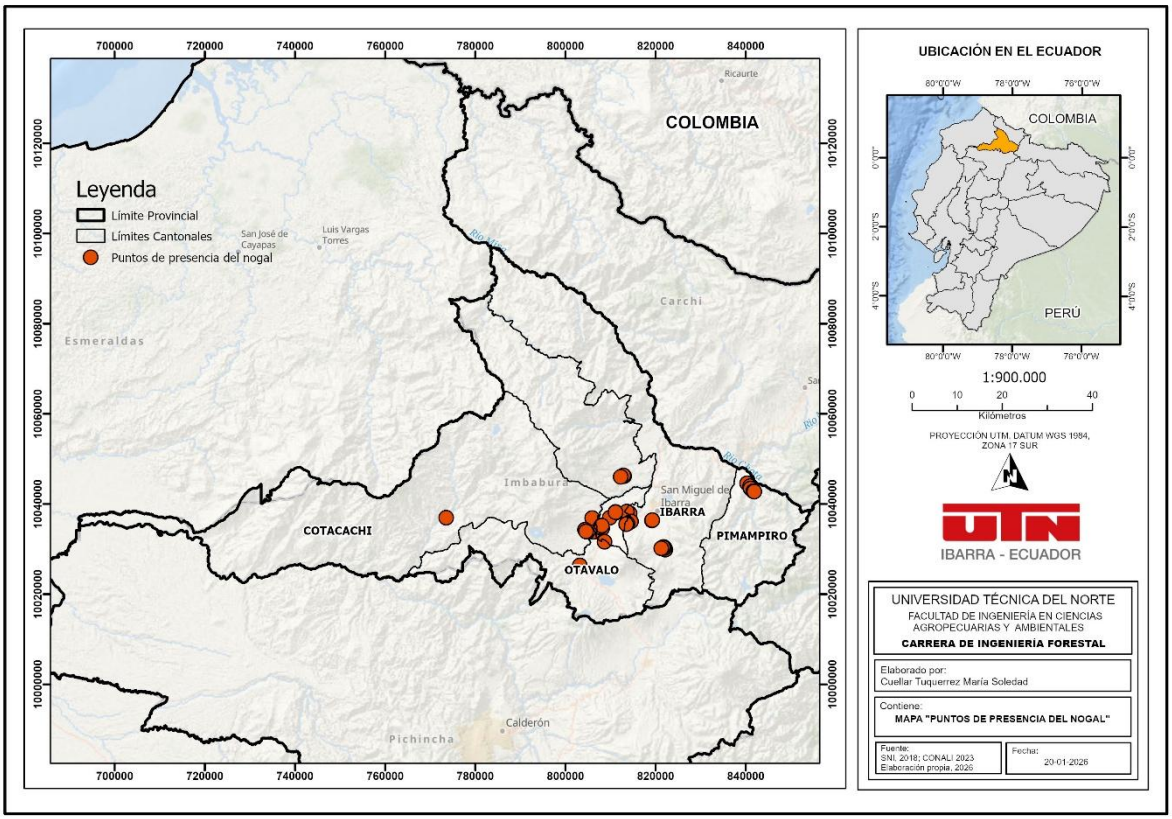
RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 Ubicación de puntos de presencia de *Juglans neotropica* Diels

En la siguiente figura se observa la provincia de Imbabura y sus cantones, en los cuales muestra los puntos referenciales de *Juglans neotropica* Diels, recolectados con el GPS, mediante la aplicación de KoboCollect.

Figura 3

Ubicación de los puntos de presencia de Juglans neotropica Diels*, en la provincia de Imbabura.*



Nota: Registros de campo tomados en KoboCollect. Fuente: Elaboración propia (2026)

La toma de puntos de presencia en la provincia de Imbabura permitió identificar su distribución actual en los diferentes cantones (Cotacachi, Otavalo, Antonio Ante, Ibarra,

Pimampiro y Urcuquí). Dentro de estos sitios, la mayor concentración de puntos registrados fueron en los cantones Antonio Ante e Ibarra, con presencia adicional en sectores de Otavalo, Cotacachi, Pimampiro y Urcuquí. Sin embargo, Cotacachi pese a ser un territorio amplio (1807.03 km2) (Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal de Santa Ana de Cotacachi [GADM-C], 2019).

3.1.1 Asociación de flora con *Juglans neotropica* Diels.

A continuación, se presenta una tabla con registro de especies de flora asociados a *Juglans neotropica* Diels, junto a su frecuencia y familia al que pertenecen, permitiendo caracterizar la estructura florística.

Tabla 3

Frecuencia y familias botánicas de especies vegetales asociadas a Juglans neotropica Diels*, registrados en el área de estudio.*

Especie	Frecuencia de individuos	Frecuencia Relativa (%)	Familia botánica
Tilo	1	0,7	Adoxaceae
Penco	2	1,4	Agavaceae
Chirimoya	7	4,8	Annonaceae
Pumamaqui	1	0,7	Araliaceae
Palmas	4	2,8	Arecaceae
Aliso	3	2,1	Betulaceae
Cholán	4	2,8	Bignoniaceae
Lengua de vaca	2	1,4	Boraginaceae

Sambos	1	0,7	Cucurbitaceae
Ciprés	3	2,1	Cupressaceae
Lechero, higuerilla	16	11	Euphorbiaceae
Guaba, frejol	12	8,3	Fabaceae
Arupo	1	0,7	Oleaceae
Aguacate	17	11,7	Lauraceae
Cedro	3	2,1	Meliaceae
Plátano	1	0,7	Musaceae
Eucalipto, Guayaba, arrayan, cepillo rojo	11	7,6	Myrtaceae
Amapola Morada	1	0,7	Papaveraceae
Pino	2	1,4	Pinaceae
Maíz, pasto, carrizo	11	7,6	Poaceae
Espino, Níspero, mora de castilla, manzana	10	6,9	Rosaceae
Café	3	2,1	Rubiaceae
Limón, mandarinas	13	9	Rutaceae
Sauce	8	5,5	Salicaceae
Hierba Mora	2	1,4	Solanaceae
Ortiga	2	1,4	Urticaceae
Verbena, cedrón, mora silvestre	4	2,8	Verbenaceae
Total	**145**	**100**	

Nota: Datos obtenidos de la recolección de información en la plataforma de KoboToolbox. (2026) *Fuente*: (HUTN)

Las frecuencias relativas confirman que los frutos y árboles encontrados entre ellos aguacate, limón, guaba y especies de lechero/higuerilla tienen alta presencia ecológica en las diferentes zonas. Por lo cual las familias encontradas varían desde grandes grupos de árboles y frutos comerciales como Lauraceae, Rosaceae, Rutaceae y Fabaceae hasta componentes de vegetación secundaria y herbácea de importancia local como Poaceae, Euphorbiaceae. Los resultados evidencian que *Juglans neotropica* Diels se asocia con un total de 145 individuos diferentes, en los que aproximadamente 30 pertenecen a especies vegetales agrupadas y 26 a familias botánicas, esto refleja diversidad florística del entorno en el que se encuentra esta especie en la provincia de Imbabura.

El nogal es una especie emblemática, rara y de alto valor ecológico en los bosques de Imbabura y la región andina ecuatoriana. Esta especie comparte ecosistemas y comunidades vegetales con varias especies arbóreas del listado (Ministerio del Ambiente, 2011). La inclusión del nogal andino es relevante para restaurar funcionalidad ecosistémica y servicios ambientales locales. Siendo así apto para cultivos con café, en huertos familiares, tal y como fueron encontrados también siendo árboles de lindero (Stone et al., 2009).

3.1.2 Asociación de la fauna con *Juglans neotropica* Diels**.**

A continuación, se presenta una tabla con registro de especies de fauna asociados a *Juglans neotropica* Diels, junto a su frecuencia relativa, permitiendo caracterizar la estructura faunística.

Tabla 4

Frecuencias de fauna mamífera y aves asociadas a la especie de estudio.

Categoría	Animales	Frecuencia (Menciones)	Frecuencia relativa
Aves silvestres	Aves, Tórtolas, Colibrí, Palomas, /Pájaros.	**41**	71 %
Mamíferos silvestres	Ratas.	**1**	2 %
Fauna doméstica	Perros, Gatos, Chancho/Cerdos, Vacas, Caballos, Gallinas	**16**	28 %
	Total	**58**	**100%**

Nota: Datos obtenidos de la recolección de información en la plataforma de KoboToolbox. (2026)

Los registros de avistamiento indican que las aves silvestres (71%), constituyen el grupo faunístico con mayor frecuencia de observación en los alrededores de *Juglans neotropica* Diels. Esto se explica por la distribución predominante de los ejemplares de nogal en sitios de carácter aislado y baja perturbación antrópica, condiciones que favorecen el uso de la copa y la estructura arbórea como sustrato para nidificación y percha. Esta función ecosistémica resulta determinante para la conectividad del paisaje, al promover la movilidad de las aves y facilitar el flujo génico entre poblaciones

Estos resultados concuerdan con Toro & Roldán (2018) ya que esta especie ha sido fundamental para la conservación de la biodiversidad en los ecosistemas andinos y ha funcionado como fuente alimenticia para la fauna silvestres. En la interacción entre la fauna y el nogal andino tienen un flujo recíproco; mientras el árbol es proveedor de semillas con un alto valor energético, algunos de los mamíferos actúan como agentes de dispersión. Como expone Cárdenas & Salinas (2007), los roedores (ratas) manipulan las drupas lo que permite que las semillas sean dispersas y alcancen sitios adecuados para su germinación lejos del árbol que provee la semilla.

3.2 Variables bioclimáticas y topográficas de *Juglans neotropica Diels,* en la provincia de Imbabura

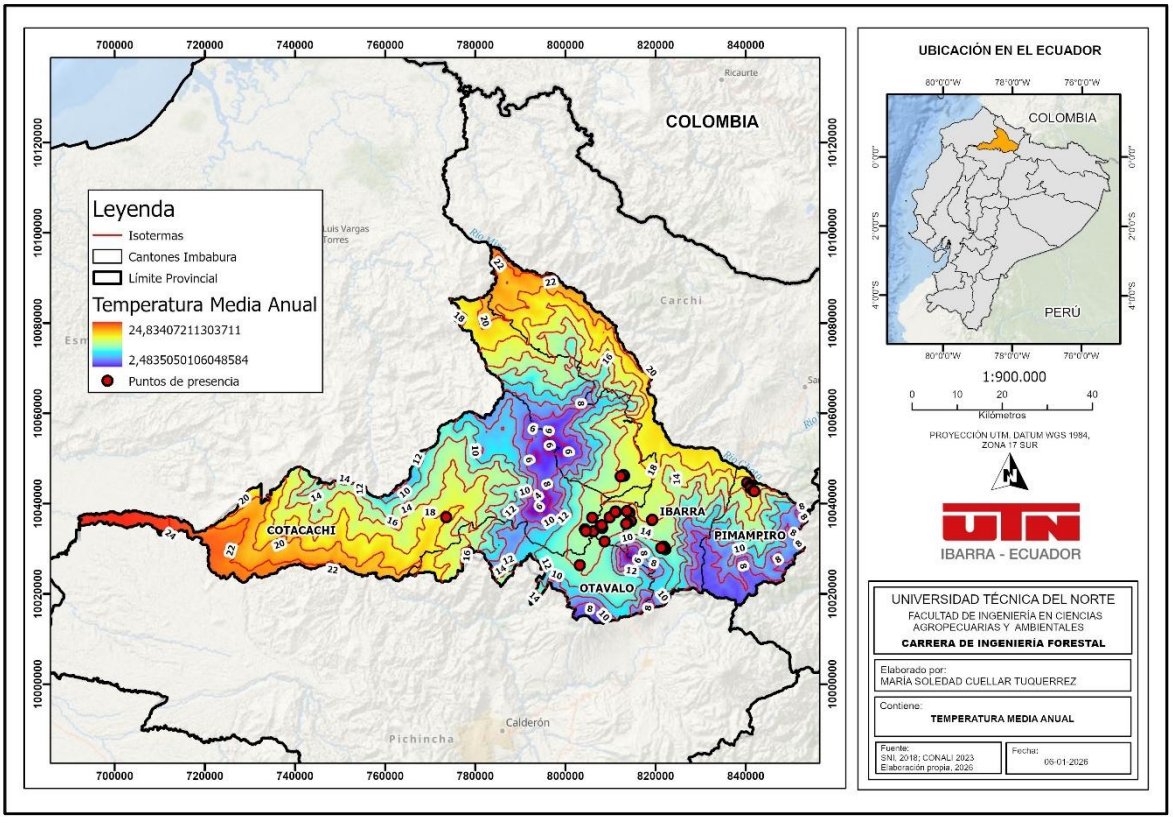
3.2.1 Variables bioclimáticas

3.2.1.1. Temperatura.

En los sitios de presencia de *Juglans neotropica* Diels se identificó una temperatura mínima 13,6 °C una temperatura media 15,4°C y una temperatura máxima 18,6° C

Figura 4

Relación entre la variable de temperatura media anual (TMA) y el registro de presencia de Juglans neotropica Diels *en la provincia de Imbabura.*



Nota: TMA en Imbabura y presencia de *Juglans neotropica* Diels. Fuente: Elaboración propia (2026)

Al realizar un promedio entre los datos máximos y mínimos con un valor medio general de 14.7°C, esto en cuanto a la provincia de Imbabura La temperatura es una variable ecológica clave que determina la distribución potencial del nogal en Imbabura, ya que influye en procesos fisiológicos y en la competencia con otras especies.

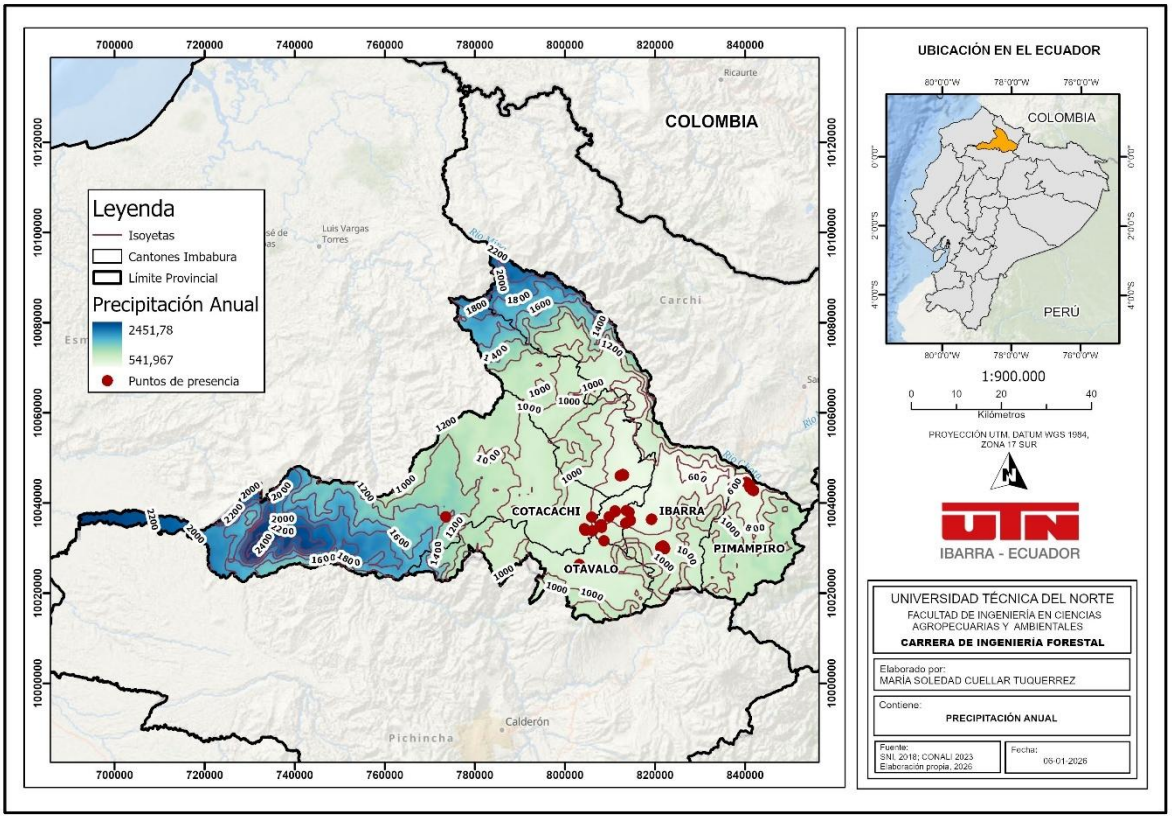
Por otro lado, la temperatura media anual registrada en los puntos de presencia es de 15°C concordando con la investigación de Chusquillo Calapiña, (2014) indican que el nogal se encuentra en áreas con temperatura promedio de 14 a 21.5 °C, y no resiste las heladas; coincidiendo con los resultados obtenidos en el rango medio y promedio. Señalando la importancia de rangos térmicos favorables para el establecimiento y éxito reproductivo de la especie. Además, investigaciones recientes de Simbaña Brucil, (2023) concluye que el incremento de temperaturas extremas y la disminución de hábitats adecuados por el cambio climático podrían reducir significativamente la viabilidad y extensión de las poblaciones naturales de *Juglans neotropica* Diels. Por lo que este enfoque resalta la necesidad de considerar mapas de idoneidad climática en la planificación de conservación y reforestación, priorizando zonas con temperaturas medias para asegurar la persistencia de la especie a largo plazo.

3.2.1.2. Precipitación.

En los sitios de presencia de *Juglans neotropica* Diels se identificó una precipitación mínima 622,8 mm una precipitación media 79,4 mm y una precipitación máxima 1.443 mm

Figura 5

Precipitacion anual y puntos de presencia de Juglans neotropica Diels *en la provincia de Imbabura.*



Nota: Precipitación anual en Imbabura y presencia de *Juglans neotropica* Diels. Fuente: Elaboración propia (2026).

La precipitación anual de la provincia de Imbabura revela que la presencia del nogal no es aleatoria, sino que responde a gradientes bioclimáticos específicos. Se observa precipitaciones moderadas que oscilan entre los 622 mm a 1.443 mm anuales. La preferencia climática de acuerdo con Toro & Roldán. (2018), el nogal andino es una especie que, aunque

versátil, encuentra su nicho óptimo en valles interandinos con regímenes de lluvia estacionales. Según Ospina et al, (2003) dice que la precipitación para *Juglan neotropica* Diels, varía entre los 700 mm y 1200 mm lo que concuerda con el rango medio de 725 mm a 828 mm anuales, el cual se encuentra dentro de los rangos mencionados.

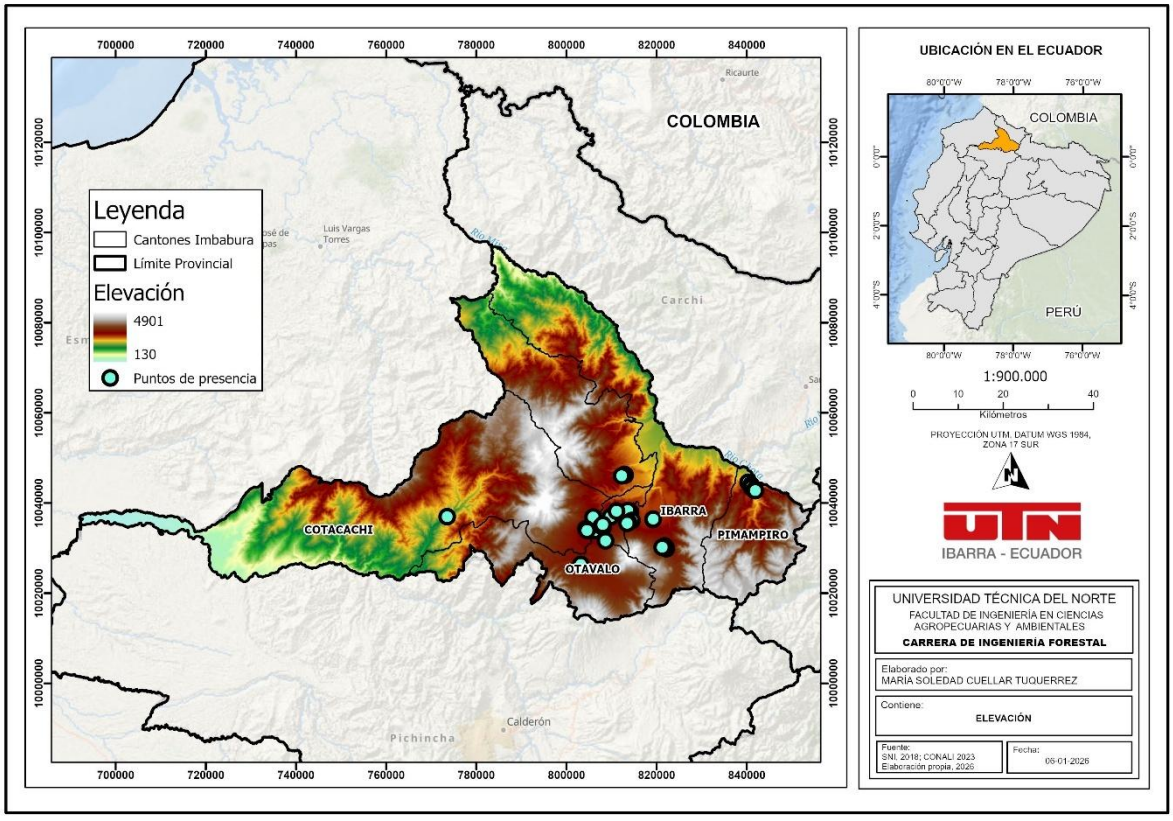
3.2.2 Variable topográfico

3.2.2.1 Elevación

En los sitios de presencia de *Juglans neotropica* Diels se identificó una elevación mínima 1.717 msnm una elevación media 2.353 msnm y una elevación máxima 2.683 msnm

Figura 6

Elevacion y puntos de presencia de Juglans neotropica Diels *en la provincia de Imbabura.*



Nota: Elevación de Imbabura y presencia de *Juglans neotropica* Diels. Fuente: Elaboración propia (2026).

La elevación en la provincia de Imbabura tiene un rango amplio que desciende hasta los 130 m y asciende hasta 4901 m.s.n.m., también se observa que la distribución espacial de los puntos de presencia de *Juglans neotropica* Diels, se concentran de manera selectiva en la región oriental y central de la provincia de Imbabura en los rangos de 2.320 msnm a 2.441 msnm.

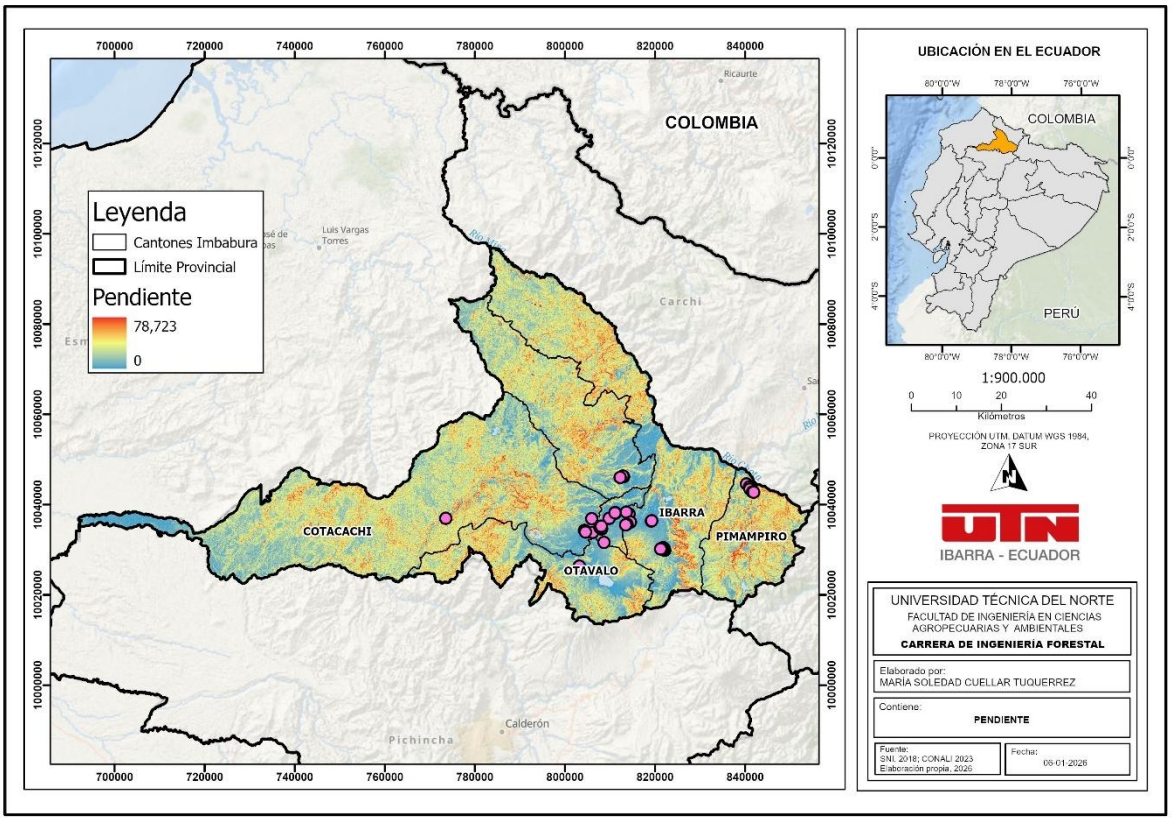
Según con el documento de Varela Guevara (2023) Ibarra se encuentra a una altitud de 2243 m.s.n.m, es decir que es dato se encuentra dentro del rango obtenido y siendo uno de los sitios con elevación adecuada para el nogal. Al coincidir con la altitud media de 2341 msnm, los datos refuerzan la teoría de que el nogal es una especie clave de los bosques montanos bajos y altos, actuando como un indicador de la salud de estos ecosistemas en la zona interandina.

3.2.2.2. Pendiente

En los sitios de presencia de *Juglans neotropica* Diels se identificó una pendiente mínima 1,82° una pendiente media 5,1° y una pendiente máxima 14,5°

Figura 7

Pendientes y puntos de presencia de Juglans neotropica Diels en la provincia de Imbabura.



Nota: Pendiente en grados de Imbabura y presencia de *Juglans neotropica* Diels. Fuente: Elaboración propia (2026).

En el presente estudio resulto la pendiente en un rango 5,4° a 7,2°, lo cual ubica a la población de *Juglans neotropica* Diels predominante en categorías de relieve moderadamente ondulado e inclinado según la taxonomía de la FAO. Así mismo las pendientes llanas o muy bajas, registrado en la presente investigación resultan perfectamente aptas siempre que el sustrato sea edafológicamente compensatorio.

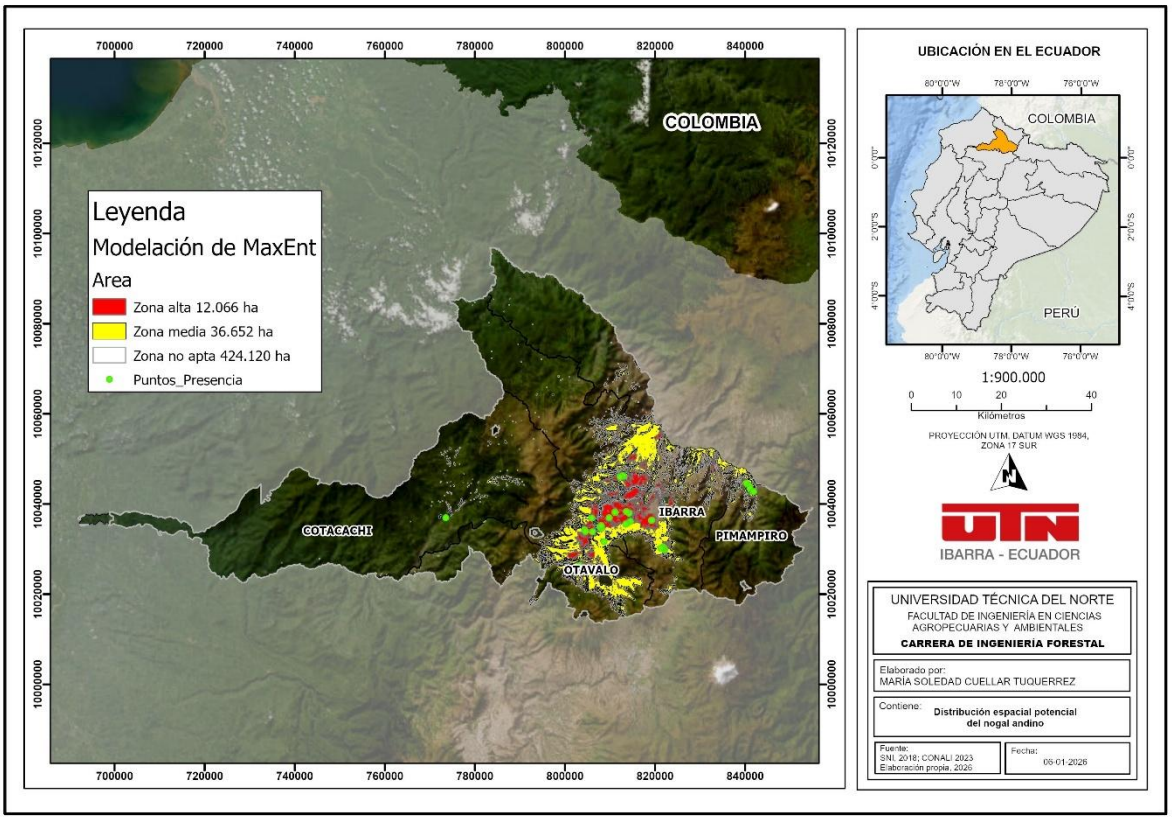
Específicamente suelos de deposición aluvial con textura franca, estructura granular suelta y porosidad efectiva elevada lo que permite la evacuación hídrica predominante sustituye la escorrentía gravitacional lateral propia de relieves más pronunciados. Esta condición de equivalencia hidrodinámica fundamenta en propiedades de alta conductividad hidráulica saturada, constituye el principio técnico que sustenta los protocolos de manejo silvicultural de COMADERA (Estrada, 1997).

3.3 Modelo de distribución espacial de *Juglans neotropica* Diels en Imbabura mediante Máxima Entroía (MaxEnt).

A partir del análisis de los registros de presencia de la especie y variables bioclimáticas ambientales mediante el algoritmo de máxima entropía (MaxEnt), se construyó un modelo de distribución potencial que estima la idoneidad del hábitat a escala espacial, el cual se presenta a continuación.

Figura 8.

Distribución espacial potencial de Juglans neotropica Diels *en la provincia de Imbabura.*



Nota: Distribución espacial potencial de *Juglans neotropica* Diels. Fuente: elaboración propia (2026).

El modelo de máxima entropía (MaxEnt) mostró un desempeño sobresaliente en la delimitación de las zonas de idoneidad ambiental para *Juglans neotropica* Diels, catalogado como excelente conforme a los umbrales de discriminación propuestos por un valor del área bajo la curva (AUC) de 0.9, que se considera excelente (Swet, 1988). La distribución potencial generada coincide con los registros de presencia compilados en la provincia de Imbabura, adicionalmente el modelo identificó áreas con alta probabilidad de ocurrencia en sectores carentes de inventarios previos para la especie.

El análisis de las variables bioclimáticas incorporadas al modelo (temperatura, precipitación y altitud) reveló que la temperatura con el rango de 14°C hasta 18°C constituye el predictor de mayor contribución relativa, lo que evidencia una dependencia marcada de la especie respecto a este factor. Dicho hallazgo es consistente con lo señalado por Díaz & Vilema (2023), quienes destacan la elevada sensibilidad del taxón a los episodios de bajas temperaturas y el déficit hídrico durante sus fases fenológicas críticas. Condiciones que restringen de forma significativa su nicho térmico óptimo.

De esta manera complementaria, la segregación altitudinal detectada a través de las curvas de respuesta univariadas confirma que la mayor idoneidad para el establecimiento de las poblaciones se acoto entre los 2320 msnm a 2441msnm, un dato congruente con el patrón de distribución típico de los ecosistemas andinos del Ecuador. Este segmento altitudinal coincide a su vez, con las áreas de alta aptitud climática identificadas en los modelos de distribución potencial de Carvajal et al. (2023), quienes reconocen a la región interandina ecuatoriana como el núcleo de idoneidad para el desarrollo de la especie.

CAPITULO IV

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones

- Los hallazgos de esta investigación demostraron que la interacción entre *Juglans neotropica* Diels, un sotobosque con alta riqueza específica y los sistemas agroforestales asociados opera predominantemente como un mecanismo de facilitación ecológica, y no como una relación de competencia interespecífica. De este modo, la biodiversidad del entorno potencia el ciclaje de nutrientes y la protección edáfica, promoviendo un escenario óptimo para el crecimiento de la especie.
- La sobrevivencia de *Juglans neotropica* Diels en los fragmentos boscosos de Imbabura está atada a la relación que mantiene con los animales que la rodean. A pesar de que los mamíferos silvestres aparecen en un 2% en los registros, su rol es importante para el transporte de semillas (roedores) siendo un determinante para la regeneración del nogal. Conjuntamente el modelado probabilístico de MaxEnt ha demostrado que la distribución espacial de la especie no responde al azar geográfico, consecuentemente, cualquier estrategia de restauración debe anclarse ineludiblemente en estas cartografías predictivas.
- Cabe resaltar que las zonas de idoneidad presentan una fragmentación espacial notable, vinculada directamente con la presión antrópica y los cambios de uso de suelo. A partir de este contexto se clasificó por zonas de idoneidad para la distribución de *Juglans neotropica* Diels. Zona no apta: en la cordillera andina, las temperaturas bajas y la radiación intensa superan los límites fisiológicos. Hacia el occidente, el aumento brusco de las lluvias y la cobertura boscosa se aleja del

ambiente que *Juglans neotropica* Diels el cual puede tolerar. Por el contrario, las zonas de aptitud media (representadas en amarillo) y zonas altas (en rojo) se concentran principalmente en la Hoya de Ibarra y en los valles interandinos cercanos. Esta área reúne el conjunto de condiciones ambientales ideales para la especie, con temperaturas moderadas y un patrón particular de humedad que elevan la aptitud del territorio. Además, mediante el modelo el centro del valle funciona como el corazón del nicho óptimo predicho, mientras que la aptitud disminuye poco a poco (pasando a categorías bajas) conforme se asciende en altitud hacia las faldas de los volcanes vecinos.

- Los resultados de este estudio demuestran que la distribución de *Juglans neotropica* Diels en la zona andina de Cotacachi responde de manera directa al gradiente altitudinal y a las condiciones edafoclimáticas asociadas. Este comportamiento se alinea con los patrones de distribución documentados para otras especies en los Andes tropicales. Asimismo, la alta capacidad predictiva de los modelos MaxEnt (AUC > 0.9) confirma la efectividad de este algoritmo para proyectar la distribución de especies tropicales a partir de registros limitados de presencia. Además, asociar las bases de datos de presencia con estudios de composición florística apoya estrategias de restauración, reforestación y manejo agroforestal.

5.2 Recomendaciones

- *Dado que la investigación se enfoca en la distribución de *Juglans neotropica* Diels en Imbabura, siendo que se encuentra vinculada a factores bioclimáticos, parches de bosque nativo y presión antrópica. Se recomienda a las instituciones locales como el GAD provincial de Imbabura, los GAD municipales, tomar en cuenta el mapa de distribución potencial obtenido en esta investigación para futuros proyectos de restauración y conservación de la especie.
- En cuanto a implementación se recomienda a la carrera de Ingeniería Forestal realizar charlas en las practicas preprofesionales y vinculación, las cuales hablen de las especies nativas en Imbabura y su importancia con el medio.
- Continuar con estudios de distribución espacial potencial de especies nativas y adaptación con el medio para la restauración y conservación de estas especies, quienes no solo aportan ecológicamente sino también crean lazos dentro de la cultura.

REFERENCIAS

Alberdi Nieves, V. (2021). Modelado de distribución de especies en los bosques de los andes meridionales. *Papeles de Geografía*, (66). https://doi.org/10.6018/geografia.409051

Almeida, E., Cajas, D., & Amaru-Chimba, J. (2021). Aspectos relevantes de la cosmovisión andina mediante narrativas para el fortalecimiento de la identidad y el orgullo cultural de las comunidades kichwa del norte del Ecuador. *Revista Electrónica Estudios del Desarrollo Social: Cuba y América Latina*, 9(2), 1-20. http://scielo.sld.cu/pdf/reds/v9n2/2308-0132-reds-9-02-e12.pdf

Bedoya Benítez, P & Guevara Correa, I. (2002). Estructura poblacional y fenología de *Juglans neotropica* Diels sin (Cedro negro), en tres parches de bosque en el departamento del Quindío. Disponible en: https://hdl.handle.net/20.500.14550/5033

Benítez Bastidas, N. M., Maldonado Mina, A. D., Tapia González, G. Á., & Falcón Gordillo, S. I. (2016). Organización sociopolítica de los pueblos Kichwas de Imbabura, Ecuador. *DELOS: Desarrollo Local Sostenible*, *11*(33). https://www.eumed.net/rev/delos/33/pueblos-kishwas-ecuador.html

Bussman, R.W., & Glenn, A. (2010). Medicinal plants used in Peru for the tratment of respiratory y disorders. *Revista Peruana de Biología,* 17(3), 331-346. https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=3695674

Cabascango Cabascango, M. V. (2011). Evaluación de cuatro tipos de sustratos y tres niveles de humus en la obtención de plántulas de nogal (Juglans neotropica) en la zona de Otavalo, Provincia de Imbabura *[Tesis de grado, Universidad Técnica de Babahoyo]. Repositorio UTB.* https://dspace.utb.edu.ec/server/api/core/bitstreams/9939345c-2332-4407-84c9-809b156facf4/content

Cárdenas López, D., & Salinas, N. R. (Eds.). (2007). *Libro rojo de plantas de Colombia: Vol. 4. Especies maderables amenazadas: Primera parte*. Instituto Amazónico de

Investigaciones Científicas SINCHI; Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. http://sinchi.org.co/files/publicaciones/publicaciones/pdf/LR_MADERABLES.pdf

Carvajal Benavides, J. G., Sono Toledo, D. D., Arcos Unigarro, C. R., Basantes Vizcaíno, T. F., Paredes Rodríguez, H. O., & Varela Jácome, G. D. (2023). Caracterización de las propiedades organoléptica y anatómica de *Juglans neotropica* Diels, (nogal) en la provincia de Imbabura. *Revista Científica Arbitrada Multidisciplinaria PENTACIENCIAS, 5*(6), 647–659. https://doi.org/10.59169/pentaciencias.v5i6.883

Centro de Levantamientos Integrados de Recursos Naturales por Sensores Remotos [CLIRSEN], Sistema de Información y Gestión Agropecuaria [SIGAGRO], & Ministerio de Agricultura, Ganadería, Acuacultura y Pesca [MAGAP]. (2011). Memoria técnica: Generación de geoinformación para la gestión del territorio a nivel nacional escala 1: 25 000. CLIRSEN; MAGAP. https://www.geoportaligm.gob.ec/portal/index.php/descargas/

Chiza Alvear, G. S. (2023). *Evaluación de las propiedades físicas, químicas e hidrológicas del suelo en dos ecosistemas con juglans neotropica diels* [Tesis de pregrado, Universidad Técnica del Norte]. Recuperado de https://repositorio.utn.edu.ec/handle/123456789/15341

Chusquillo Calapiña, L. A. (Octubre de 2014). Diseño de un proceso para la obtención de compuestos fenológicos del pericarpio de la semilla del nogal (*Juglans neotrpica* Diels) y extracción del aceite de nuez. *Obtenido de Escuela Politécnica Nacional:* https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/8645/3/CD-5815.pdf

Delgado, R., & Gavilanes, M. (2020). Monitoring a tropical super cyclone Amphan over Bay of Bengal and nearby region. *Remote Sensing Applications: Society and Environment*, 20, 100408.

https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2352938520303426?via%3Dihub

Díaz Gomez, C. P., & Vilema Vilema, G. A. (2023). *Determinación de características fenológicas de juglans neotropica diels en cuatro formaciones vegetales, Imbabura* [Tesis de pregrado, Universidad Técnica del Norte]. Recuperado de https://repositorio.utn.edu.ec/handle/123456789/14515

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

Envol Vert. (2021, 18 de febrero). *Actividades para la conservación de una especie en peligro de extinción, el nogal negro*. https://envol-vert.org/es/act/actividades-para-la-conservacion-de-una-especie-en-peligro-de-extincion-el-nogal-negro/

Eraso Terán, O. H., Varela Jacome, G. D., Añazco Romero, M. J., & Vallejos Álvarez, H. V. (2026). Socio-ecological barriers to the sustainable management of the Andean walnut (Juglans neotropica) and the value paradox in the Ecuadorian Andes: A case study from Imbabura Province, Ecuador. *Conservation*, *6*(2), 52. https://doi.org/10.3390/conservation6020052

Estrada, W. (1997). *Manual para la producción de nogal* (1.ª ed.). Cormadera. Organizacion Internacional de las Maderas Tropicales. http://www.itto.int/files/user/pdf/publications/Other%20Publications/op-14%20s%20nogal.pdf

Fernández-Chávez, M., Guerrero-Morales, S., Palacios-Monárrez, A., Uranga-Valencia, L. P., Escalera-Ochoa, L., & Pérez-Álvarez, S. (2021). Analysis of various economic production aspects in high and low density walnut orchards. Case study *Estudio de caso. Cultivos Tropicales, 42(2), e01.*

https://www.redalyc.org/journal/1932/193268052001/html/

Fick, S. E., & Hijmans, R. J. (2017). WorldClim 2: new 1-km spatial resolution climate surfaces for global land areas. International Journal of Climatology, 37(12), 4302–4315. Portico. https://doi.org/10.1002/joc.5086

Flores Reyes, I. M. (2012). *Estudio de factibilidad para la creación de la microempresa de turismo de aventura Yachag Huasi en la parroquia de Quiroga, del cantón Cotacachi de la provincia de Imbabura* [Tesis de pregrado, Universidad Técnica del Norte]. Recuperado de https://repositorio.utn.edu.ec/handle/123456789/891

Gauthier, M.-M., & Jacobs, D. F. (2011). Walnut (Juglans spp.) ecophysiology in response to environmental stresses and potential acclimation to climate change. Annals of Forest Science, 68(8), 1277–1290. https://doi.org/10.1007/s13595-011-0135-6

Global Biodiversity Information Facility. (s.f.). *What is GBIF?* https://www.gbif.org/what-is-gbif

Gobierno Autónomo Descentralizado Provincial de Imbabura. (2015). *Imbabura 2015-2035*. https://www.imbabura.gob.ec/phocadownloadpap/K-Planes-programas/PDOT/PDOT%20IMBABURA%202015-2035.pdf

Gobierno Autónomo Descentralizado Provincial de Imbabura. (2019). *Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial de la Provincia de Imbabura 2019-2023*. Dirección de Planificación. https://www.imbabura.gob.ec/phocadownload/K-Planes-programas/PDOT/pdot_imbabura_2019-2023.pdf

Gonzalón Linto, A. J. (2024). *Valoración de interacciones ecológicas del Juglans Neotropica Diels., en dos ecosistemas de la provincia de Imbabura* [Tesis de pregrado, Universidad Técnica del Norte]. Recuperado de https://repositorio.utn.edu.ec/handle/123456789/16011

Hernández-Sampieri, R., & Mendoza, C. (2018). *Metodología de la investigación: Las rutas cuantitativa, cualitativa y mixta*. McGraw-Hill Education. https://virtual.cuautitlan.unam.mx/rudics/wp-content/uploads/2019/02/RUDICSv9n18p92_95.pdf

Instituto Nacional de Innovación Agraria. (2015). *Nogal (Juglans neotropica Diels.)* [Folleto]. Ministerio de Agricultura y Riego; Estación Experimental Agraria Pichanaki. https://repositorio.inia.gob.pe/server/api/core/bitstreams/d43f81fc-4c3f-4628-9af1-b54385a9c4b4/content

Jilcha Sileyew, K. (2020). Research Design and Methodology. In Cyberspace. IntechOpen. http://dx.doi.org/10.5772/intechopen.85731

Kübler, D., Hildebrandt, P., Günter, S., Stimm, B., Weber, M., Mosandl, R., Muñoz, J., Cabrera, O., Aguirre, N., Zeilinger, J., & Silva, B. (2016). Assessing the importance of topographic variables for the spatial distribution of tree species in a tropical mountain forest. *ERDKUNDE*, *70*(1), 19–47. https://doi.org/10.3112/erdkunde.2016.01.03

Ledezma Rivera, J. L. (2003). Estrategias no monetarias en las comunidades andinas quechuas de Raqaypamba (Bolivia). *Economía Andina.* https://digitalrepository.unm.edu/abya_yala/158

León-Yánez, S., Valencia, R., Pitman, N., Endara, L., Ulloa Ulloa, C., & Navarrete, H. (Eds.). (2011). *Libro rojo de las plantas endémicas del Ecuador* (2da ed.). Publicaciones del Herbario QCA, Pontificia Universidad Católica del Ecuador. https://repositorio.puce.edu.ec/handle/123456789/43357

López Narváez, A. L. (2023). *Determinación del factor de forma de juglans neotropica diels en predio universitario Yuyucocha, Imbabura, Ecuador* [Tesis de pregrado, Universidad Técnica del Norte]. Recuperado de

https://repositorio.utn.edu.ec/handle/123456789/14237

Lu, Z., Tang, Z., Liao, C., & Zhang, Y. (2022). Climate niche modelling for mapping potential distributions of four framework tree species: Implications for planning forest restoration in tropical and subtropical Asia. *Forests*, *13*(7), 993. https://doi.org/10.3390/f13070993

Marínez Sánchez, J. N., Cuéllar Rodríguez, L. G., Yerena Yamallel , J. I. ., Cavazos Pérez, M. T., & Gárate Escamilla, H. A. . (2023). Comparación de bases de datos climáticos en la modelación de distribución potencial de Pinus cembroides Zucc. *Revista Mexicana De Ciencias Forestales*, *14*(79), 135–158. https://doi.org/10.29298/rmcf.v14i79.1350

Merow, C., Smith, M. J., & Silander, J. A., Jr. (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 del Ambiente. (s. f.). Manual de identificación de las principales familias y géneros arbóreos del Ecuador. Evaluación Nacional Forestal. https://enf.ambiente.gob.ec/web_enf/documentos/familiasGenerosArboreos.pdf

Molina, F., del Valle, F., Fernández de Ana Magán, F., & Molina, B. (2003). Guía de silvicultura, producción de madera de alto valor: El nogal. Asociación Forestal de Galicia. https://asesoresaragon.org/download-doc/469060

Montoya, B. H., Lemeshko, V. B., López, J., Pareja, A., Urrego, R., & Torres, R. (2003). Actividad antioxidativa de algunos extractos vegetales. Vitae, 10(2), 72-79. https://www.redalyc.org/pdf/1698/169817981008.pdf

Moreno Ramón, H., & Ibáñez Asensio, S. (2020). Cómo determinar la textura de un suelo al tacto *[Video]*. *Universitat Politècnica de València.* https://polimedia.upv.es/visor/?id=0b254ca0-aa79-11ea-beb7-0f898f031969

Nogal *(Juglans neotropica Diels):* Fichas técnicas de especies forestales. *Ecuador Forestal*. https://ecuadorforestal.org/wp-content/uploads/2010/08/NOGAL.pdf

Organización Mundial de la Salud. (2013). *Estrategia de la OMS sobre medicina tradicional 2014-2023*. Organización Mundial de la Salud. https://apps.who.int/iris/handle/10665/92455

Ordoñez, L., Aguirre, N., & Hofstede, R. (2001). Sitios de recolección de semillas forestales andinas del Ecuador. *EcoPar – Abya Yala*. https://digitalrepository.unm.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1316&context=abya_yala

Organización de los Estados Americanos. (1990). *Suelos del orden molisol*. En *Estudio de la cuenca del río San Juan: Estudio para la planificación del desarrollo de los recursos de la cuenca del río San Juan en Nicaragua* (Capítulo 2.5). Departamento de Desarrollo Regional y Medio Ambiente de la OEA. https://www.oas.org/dsd/publications/unit/oea30s/ch026.htm#a.2.5%20suelos%20del%20orden%20molisol

Ortega Montenegro, H. (2012). *Estudio del ataque de Gretchena Garai Miller en Nogal (Juglans Neotropica Diels) en plantación sola y asociada con cuatro especies forestales en dos sitios* [Tesis de pregrado, Universidad Técnica del Norte]. Recuperado de https://repositorio.utn.edu.ec/handle/123456789/806

Ortiz, R., & Honorio, C. (2021, enero 15). *Influencia del tipo de suelo sobre el crecimiento diamétrico anual de juglans neotropica diels y eriotheca ruizii (k. schum.) a. robyns en los sectores del parque universitario Francisco Vivar Castro y la reserva el chilco,*

al sur de Ecuador. Loja. https://dspace.unl.edu.ec/handle/123456789/23765

Ospina Penagos, C. M., Hernández Restrepo, R. J., Aristizábal Valencia, F. A., Patiño Castaño, J. N., y Salazar Castaño, J. W. (2003). *El cedro negro: Una especie promisoria en la zona cafetera* (Boletín Técnico No. 25). Centro Nacional de Investigaciones de Café (Cenicafé); Federación Nacional de Cafeteros de Colombia. https://biblioteca.cenicafe.org/bitstream/10778/580/3/bot025.pdf

Palacios-Herrera, B., Pereira-Lorenzo, S., & Pucha-Cofrep, D. (2025). Phenological variation of native and reforested Juglans neotropica Diels in response to edaphic and orographic gradients in southern Ecuador. *Diversity*, *17*(9), 627. https://doi.org/10.3390/d17090627

Palacios-Herrera, B., Pereira-Lorenzo, S., & Pucha-Cofrep, D. (2023). Natural and artificial occurrence, structure, and abundance of Juglans neotropica Diels in Southern Ecuador. *Agronomy (Basel, Switzerland)*, *13*(10), 2531. https://doi.org/10.3390/agronomy13102531

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

Poggio, L., de Sousa, L. M., Batjes, N. H., Heuvelink, G. B. M., Kempen, B., Ribeiro, E., & Rossiter, D. (2021). SoilGrids 2.0: producing soil information for the globe with quantified spatial uncertainty. *SOIL*, *7*(1), 217–240. https://doi.org/10.5194/soil-7-217-2021

Paredes Rodríguez, H. O., Varela Jácome, G. D., Rosales Enríquez, O. A., Carvajal Benavides, J. G., & León-Espinoza, M. E. (2023). Herbario universidad técnica del norte HUTN, un laboratorio para conocer la diversidad de especies forestales del

Ecuador. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, *7*(3), 1167-1184. https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v7i3.6262

Quinche Quilca, J. M., & Ochoa Urrego, Z. (2024). *Estudio fenológico de Juglans neotropica Diels y su relación con condiciones climáticas en cuatro prácticas de árboles plantados* [Tesis de pregrado, Universidad Técnica del Norte]. Recuperado de https://repositorio.utn.edu.ec/handle/123456789/16639

Quinche Quilca, J. M., & Ochoa Urrego, Z. (2024). *Estudio fenológico de Juglans neotropica* Diels *y su relación con condiciones climáticas en cuatro prácticas de árboles plantados*. Universidad Técnica del Norte. https://repositorio.utn.edu.ec/handle/123456789/16639

Quiroz Martínez, Ruth Estefanía. (2013). Evaluación de la Actividad Cicatrizante de un Gel Elaborado a Base de los Extractos de Nogal (*Juglans neotropica* Diels), Ortiga (Urtica dioica L.), Sábila (Aloe vera), en Ratones (Mus musculus). Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Riobamba. http://dspace.espoch.edu.ec/handle/123456789/2568

Ramírez-López, J.-L., Añazco, M., Vallejos, H., Arcos, C., & Estrada, K. (2025). Assessment of Three Provenances of *Juglans neotropica* Diels to Identify Optimal Seed Sources in the Northern Ecuadorian Andes. *International Journal of Plant Biology*, *16*(3), 87. https://doi.org/10.3390/ijpb16030087

Ramos-Veintimilla, R. A., Romero-Cañizares, F., González-Narváez, M., Vera-Velez, R., & García-Mora, M. (2025). *Evaluation of Adaptive Responses of Juglans neotropica Diels Progenies Based on Dasometric Traits*. *International Journal of Plant Biology*, *16*(1), 26. https://doi.org/10.3390/ijpb16010026

Rey Jumbo, L, Y. (2023). *Impactos de la deforestación e incendios forestales en la distribución potencial de especies forestales de aprovechamiento condicionado del*

bosque andino ecuatoriano. Loja. https://dspace.unl.edu.ec/handle/123456789/27174

Rojas Rodríguez, F., & Torres Córdoba, G. (2008). *Árboles del Valle Central de Costa Rica: reproducción*. Unirioja.es. Recuperado el 20 de mayo de 2026, de https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/5123203.pdf

Silva, C. S. da, Silva, L. M. da, Wadt, L. H. de O., Miqueloni, D. P., Silva, K. E. da, & Pereira, M. G. (2021). Soil classes and properties explain the occurrence and fruit production of Brazil nut. *Revista Brasileira de Ciencia Do Solo*, *45*. https://doi.org/10.36783/18069657rbcs20210001

Simbaña Brucil, S. L. (2023). *Evaluación ecológica asociada a Juglans neotropica Diels, en dos agroecosistemas de la Provincia de Imbabura*. Universidad Técnica del Norte. https://repositorio.utn.edu.ec/handle/123456789/15293

Snyder, H. (2019). Literature review as a research methodology: An overview and guidelines. *Journal of Business Research*, *104*, 333-339. https://doi.org/10.1016/j.jbusres.2019.07.039

Soil Survey Staff. (2014). *Keys to Soil Taxonomy* (12th ed.). United States Department of Agriculture; Natural Resources Conservation Service. https://soildistrict.org/wp-content/uploads/2022/01/2014_Keys_to_Soil_Taxonomy.pdf

Sono Toledo, D. D., Carvajal Benavides, J. G., Arcos Unigarro, C. R., Albuja Illescas, L. M., & Aroca Farez, A. E. (2025). Trees and Society: Perceptions of Juglans Neotropica Diels. doi: https://perfiles.espoch.edu.ec/index.php/perfiles/article/view/299/237.

Stone, D. E., Oh, S.-H., Tripp, E. A., Ríos G, L. E., & Manos, P. S. (2009). Natural History, Distribution, Phylogenetic Relationships, and Conservation of Central American Black Walnuts (Juglans sect. Rhysocaryon). *The Journal of the Torrey Botanical Society*, *136*(1), 1–25. http://www.jstor.org/stable/40207615

Swets, J. A. (1988). Measuring the accuracy of diagnostic systems. *Science*, *240*(4857),

1285–1293. https://doi.org/10.1126/science.3287615

Tigrero-Zapata, G. J., Vásconez-Montúfar, G. H., Ferrer-Sánchez, Y., Cedeño-Moreira, A. V., Nieto-Cañarte, C. A., & Abasolo-Pacheco, F. (2022). Identif icación del potencial agrícola de suelos en la Amazonía Ecuatoriana, a partir de variables físico-químicas, microbiológicas y ambientales. *Terra Latinoamericana: organo cientifico de la Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo, A.C*, *40*. https://doi.org/10.28940/terra.v40i0.1294

Toro Vanegas, E., & Roldan Rojas, I. C. (2018). Estado del arte, propagación y conservación de Juglans neotropica Diels., en zonas andinas. *Madera y bosques*, *24*(1). https://doi.org/10.21829/myb.2018.2411560

Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza. (2012). Categorías y Criterios de la Lista Roja de la UICN: Versión 3.1 (2da ed.). https://portals.iucn.org/library/sites/library/files/documents/RL-2001-001-2nd-Es.pdf

Vaca Llivigañay¬J. A., & Palacios Herrera, B. G. (2023). Estructura, productividad de madera y regeneración natural de Juglans neotropica Diels en la Hacienda la Florencia del Cantón y provincia de Loja. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, 7(2), 1640-1655. https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v7i2.5430

Vallejos Alvarez, H. V., Vilema Vilema, G. A., Díaz Gómez, C. P., & Cue García, J. L. (2023). Estudio fenológico de Juglans neotropica Diels. en Imbabura – Ecuador. *Bosques Latitud Cero*, *13*(2), 23–33. https://doi.org/10.54753/blc.v13i2.1881

Valverde Armijos, I. F. D. I., Carvajal Benavides, M. J. G., Valencia Valenzuela, M. X. G., Rosero Chamorro, M. E. G., & Flores Ruiz, M. J. A. (2023). Rol de Juglas neotropica diels en la silvicultura urbana en la parroquia San Francisco del cantón Ibarra, provincia Imbabura. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, *7*(1), 2993–3017. https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v7i1.4637

Varela Guevara, L. E. (2023). *Análisis del balance hídrico superficial en la etapa inicial de una plantación de Juglans neotropica* Diels (Trabajo de titulación de pregrado). Universidad Técnica del Norte, Ibarra, Ecuador. https://repositorio.utn.edu.ec/bitstream/123456789/14284/2/03%20FOR%20358%20TRABAJO%20DE%20GRADO.pdf

WANG HY, WANG RL, LI F, (2023) Ecological climate suitability and potential distribution of *Juglans cathayensis* Dode. in Sichuan Province. *Journal of Sichuan Forestry Science and Technology*, 44(2): 143-148. https://www.sjfsci.com/cn/article/doi/10.12172/202206070003

Zhang, W., Wang, X., & Zhang, Z. (2023). *Habitat suitability evaluation of different forest species in Lvliang Mountain by combining prior knowledge and MaxEnt model*. *Forests*, *14*(2), 438. https://doi.org/10.3390/f14020438

ANEXOS

Anexo 1 *Ficha de evaluación de variables en cada individuo.*

Variables Cuantitativas	
Seleccione la especie forestal	El sistema automáticamente seleccionó a la especie del nogal.
Coordenadas de Ubicación	En el teléfono móvil estuvo encendido la ubicación para conectar a diferentes satélites, por lo que se obtuvo el punto de ubicación con un rango error menor.
DAP (cm)	Fue medido con una cinta métrica en la que obtendremos el CAP, posteriormente el resultado fue convertido a DAP
Altura total del árbol (m)	Con la ayuda de Trees una aplicación móvil, se tomó la altura total del árbol
Tamaño de copa media /S (m) **Tamaño de copa media E/O (m)**	Con una cinta métrica se tomó desde la última rama visible sobre la cabeza, hasta el extremo frontal de la última hoja visible.
Variables Cualitativas	
Estado fitosanitario	Se obtuvo en base a si estaba sano o enfermo, observando en el fuste y sus hojas, si se observa alguna clase de hongos
Fuste	Se observó si el fuste es recto o torcido
Asociatividad con flora	Se hizo una observación a la flora existente alrededor del individuo
Asociatividad con fauna	La visualización fue en su alrededor.
Tipo de suelo	La textura del suelo se determinó en campo mediante el método organoléptico (tacto), siguiendo el manual de campo para levantamiento de suelos (Soil Survey Staff, 2014) que permite clasificar el suelo en: * Arenoso: es granuloso, no forma bolas ni cinta, que * Limoso: se siente suave y harinoso *Arcilloso: es pegajoso, forma cintas largas y delgadas fácilmente
Sistema de localización del árbol	Se observó el sitio en el que se encuentra la especie y seleccionar una respuesta acorde a lo que se visualiza.
Fotografía	Se tomó una fotografía desde el teléfono móvil, para que este quede en constancia de su presencia.

Anexo 2 resultados de la toma de puntos de presencia en Kobotoolbox

Coordenadas de Ubicación:	DAP (cm):	Altura total del árbol (metros):	Tamaño de copa media N/S (metros):	Tamaño de copa media E/O (metros):	Estado Fitosanitario:	Fuste:	Asociatividad con Flora:	Asociatividad con Fauna:
	Search	Search	Search	Search	Mostrar todo	Mostrar todo	Search	Search
0.4175024 -78.188...	40.0	11.5	8.0	7.0	Sano	Recto	Chirimoya, lim...	Aves
0.4187447 -78.189...	30.0	6.0	5.0	4.0	Sano	Recto	Chirimoya, agu...	Aves
0.4156741 -78.194...	50.0	13.0	6.0	8.0	Sano	Recto	Palmas, guaba...	Tortola, colibrí
0.3446275 -78.204...	28.0	8.0	8.0	5.0	Sano	Recto	Frejol, amapol...	Tortolas, abeja
0.3441697 -78.204...	15.0	8.0	6.0	5.0	Sano	Recto	Pánico, rábano...	Palomas, torto
0.3455622 -78.204...	45.0	11.0	10.0	11.0	Sano	Recto	Escubillo, hier...	Tortolas,
0.3344579 -78.542...	60.0	7.45	14.0	16.0	Sano	Torcido	Aguacate, limó...	Pajaritos
0.346652 -78.1824...	35.0	12.0	15.0	10.0	Sano	Recto	Aguacate, her...	Pajaros
0.342679 -78.1771...	30.0	10.0	5.0	8.0	Sano	Recto	Aguacate, maí...	Pajaros
0.334348 -78.2169...	20.0	15.0	9.0	8.0	Sano	Recto	Chirimoyos, ag...	Aves

Anexo 3 *Descripción de variables bioclimáticas utilizadas en el análisis espacial*

	Variable	Descripción
1	bio_01	Temperatura media anual
2	bio_02	Rango medio diurno (Media mensual (temperatura máxima - temperatura mínima))
3	bio_03	Isotermalidad (BIO2/BIO7) (×100)
4	bio_04	Estacionalidad de la temperatura (desviación estándar ×100)
5	bio_05	Temperatura máxima del mes más cálido
6	bio_06	Temperatura mínima del mes más frío
7	bio_07	Rango anual de temperatura (BIO5-BIO6)
8	bio_08	Temperatura media del trimestre más húmedo
9	bio_09	Temperatura media del trimestre más seco
10	bio_10	Temperatura media del trimestre más cálido
11	bio_11	Temperatura media del trimestre más frío
12	bio_12	Precipitación anual
13	bio_13	Precipitación del mes más lluvioso
14	bio_14	Precipitación del mes más seco
15	bio_15	Estacionalidad de la precipitación (coeficiente de variación)
16	bio_16	Precipitación del trimestre más lluvioso
17	bio_17	Precipitación del trimestre más seco
18	bio_18	Precipitación del trimestre más cálido
19	bio_19	Precipitación del trimestre más frío
20	PREC	Precipitación (mm) Anual

21		TEMP_MAX	temperatura máxima (°C) Media Anual
22		TEMP_MEAN	temperatura media (°C) Media Anual
23		TEMP_MIN	temperatura mínima (°C) Media Anual
24		VAPR	Presión de vapor de agua (kPa) Media Anual
25		WIND_Clip	velocidad del viento (m s-1) Media Anual
26		SRAD	Radiación solar (kJ m-2 día-1) Media Anual

Anexo 4 *Descripción de variables topográficas utilizadas en el análisis espacial*

	Variable	Descripción
1	Aspect	Orientación
2	flowdir	Dirección del Flujo
3	MDE	Modelo Digital de Elevación
4	slope	Pendiente en grados
5	TPI	Topographical Position Index—TP
6	TRI	Terrain Roughness Index —TRI

Anexo 5 *Descripción de variables edáficas utilizadas en el análisis espacial*

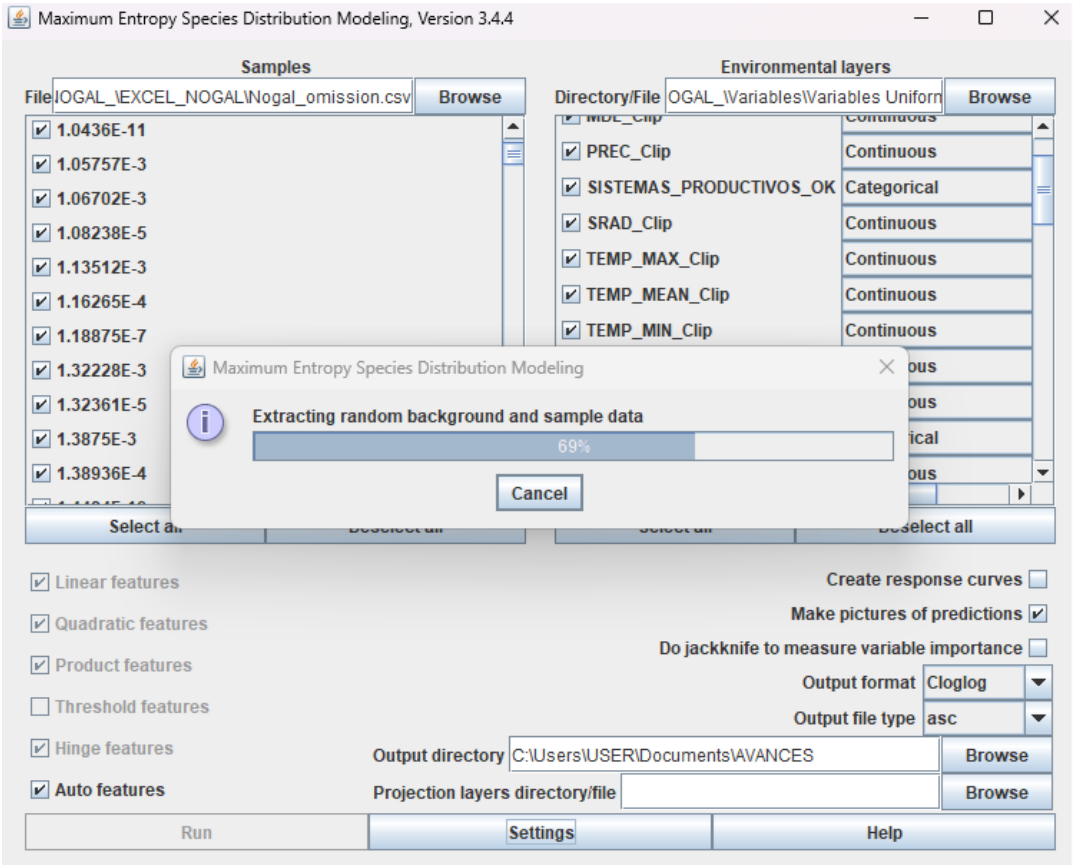
Código	Descripción	Unidades mapeadas	Unidades convencionales	Factor conversión	Capa GEE
bdod	Densidad aparente de la fracción tierra fina	cg/cm³	kg/dm³	0.01	bdod_mean
clay	Proporción de partículas de arcilla (< 0,002 mm) en la fracción tierra fina	g/kg	g/100g (%)	0.1	clay_mean
sand	Proporción de partículas de arena (> 0,05 mm) en la fracción tierra fina	g/kg	g/100g (%)	0.1	sand_mean
silt	Proporción de partículas	g/kg	g/100g (%)	0.1	silt_mean

	de limo (≥ 0,002 mm y ≤ 0,05 mm) en la fracción tierra fina				
nitrogen	Nitrógeno total (N)	cg/kg	g/kg	0.01	nitrogen_mean
phh2o	pH del suelo	pHx10	Ph	0.1	phh2o_mean
soc	Contenido de carbono orgánico del suelo en la fracción tierra fina	dg/kg	g/kg	0.1	soc_mean
ocs	Reservas de carbono orgánico	t/ha	kg/m²	0.1	ocs_mean

Anexo 6 *Descripción de variables de cobertura utilizadas en el análisis espacial*

	Variable	Descripción
1	SISTEMAS_PRODUCTIVOS	Coberturas y usos del suelo
2	UNIDAD_GEOPEDOLOGICA	UNIDAD_GEOPEDOLOGICA

Anexo 7 *Primera corrida de MaxEnt*



Anexo 8 *Resultados de MaxEnt en la primera corrida y variables con mayor influencia*

Variables ambientales	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 9 *Registro fotográfico de Juglans neotropica Diels*




Anexo 10 *toma de datos en campo*

