UNIVERSIDAD NACIONAL DE UCAYALI

FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES Y AMBIENTALES

ESCUELA DE INGENIERIA FORESTAL

MODELAMIENTO DE TRES ESPECIES FORESTALES PARA OBTENER SU DISTRIBUCIÓN GEOGRÁFICA, APLICANDO EL SOFTWARE MAXENT 3.4.1, DISTRITO DE TAHUANÍA, PROVINCIA ATALAYA, REGIÓN DE UCAYALI

Tesis para optar el título profesional de

INGENIERO FORESTAL

JULIO BRAULIO PEREZ MONTILLA

Pucallpa, Perú

2024

UNIVERSIDAD NACIONAL DE UCAYALI
FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES Y AMBIENTALES
COMISION DE GRADOS Y TITULOS

ACTA DE APROBACIÓN DE SUSTENTACIÓN DE TESIS N° 459/2024-CGyT-FCFyA-UNU

En la ciudad de Pucallpa a las 09:10 horas del día viernes 26 de enero de 2024, de acuerdo con el Reglamento de Grados y Títulos de la Universidad Nacional de Ucayali, se reunieron los miembros del Jurado Evaluador en el auditorio de la Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales, los mismos que estuvo designado con Memorándum Múltiple N° 006-2024-UNU-FCsFyA-CGT, conformado por los siguientes docentes:

Dr. Gabriel Mercado Jauregui	Presidente
Dr. Fernando Velásquez de la Cruz	Miembro
Dr. Isaías Alberto Salinas Andrade	Miembro

En seguida se procedió a la evaluación de la sustentación de la tesis titulada: **"Modelamiento de tres especies forestales para obtener su distribución geográfica, aplicando el Software Maxent 3.4.1, Distrito de Tahuanía, Provincia de Atalaya, Región de Ucayali"**, presentado por el bachiller Julio Braulio Perez Montilla, asesorado por al Ing. M.Sc. Moisés Torres Velasco, finalizada la sustentación, se procedió a la formulación de preguntas por parte de los miembros del Jurado, las cuales fueron absueltas por el sustentante, en consecuencia, la tesis fue **APROBADA POR UNANIMIDAD RECOMENDANDO SU PUBLICACIÓN,** Previo levantamiento de observaciones, quedando expedito para el otorgamiento del **TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO FORESTAL,** siendo las 10:10 horas se dio por culminado el acto académico, firmando los miembros del jurado en señal de conformidad.

Dr. Gabriel Mercado Jauregui
Presidente

Dr. Fernando Velásquez de la Cruz
Miembro

Dr. Isaías Alberto Salinas Andrade
Miembro

ACTA DE APROBACIÓN

La presente tesis fue aprobada por el jurado Evaluador de la Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales de la Universidad Nacional de Ucayali, como requisito para optar el Titulo Profesional de Ingeniero Forestal.

Dr. Gabriel Mercado Jauregui — Presidente

Dr. Fernando Velásquez de la Cruz — Miembro

Dr. Isaías Alberto Salinas Andrade — Miembro

Ing. M.Sc. Moisés Torres Velasco — Asesor

Bach. Julio Braulio Perez Montilla — Tesista

UNIVERSIDAD NACIONAL DE UCAYALI

DIRECCIÓN DE PRODUCCIÓN INTELECTUAL

CONSTANCIA

ORIGINALIDAD DE TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

Nº **V/0010-2024**.

La Dirección de Producción Intelectual de la Universidad Nacional de Ucayali, hace constar por la presente, que el trabajo académico de investigación, titulado:

"**MODELAMIENTO DE TRES ESPECIES FORESTALES PARA OBTENER SU DISTRIBUCIÓN GEOGRÁFICA, APLICANDO EL SOFTWARE MAXENT 3.4.1, DISTRITO DE TAHUANÍA, PROVINCIA ATALAYA, REGIÓN DE UCAYALI.**"

Autor(es)	:	**PEREZ MONTILLA, JULIO BRAULIO**
Facultad	:	**CIENCIAS FORESTALES Y AMBIENTALES**
Escuela	:	**ING. FORESTAL**
Asesor(a)	:	**M.Sc. TORRES VELASCO, MOISÉS**

Presenta un **porcentaje de similitud de 3%,** verificado en el Sistema Antiplagio URKUND/OURIGINAL,

De acuerdo a los criterios de porcentaje establecidos en el artículo 9 de la DIRECTIVA DE USO DEL SISTEMA ANTIPLAGIO, el cual indica que todo trabajo de investigación no debe superar el 10%. **En tal sentido, se declara, que el presente trabajo de investigación: SI Contiene un porcentaje aceptable de similitud,** procediéndose a emitir la presente Constancia de Originalidad de Trabajo de Investigación (COTI) a solicitud del asesor.

En señal de conformidad se firma y sella el presente documento.

Fecha: **19/01/2024**

UNIVERSIDAD NACIONAL DE UCAYALI Dirección General de Producción Intelectual

Mg. JOSÉ MANUEL CÁRDENAS BERNAOLA
Director de Producción Intelectual

UNIVERSIDAD NACIONAL DE UCAYALI

DIRECCIÓN DE PRODUCCIÓN INTELECTUAL

AUTORIZACIÓN DE PUBLICACIÓN

Repositorio de la Universidad Nacional de Ucayali

Yo, JULIO BRAULIO PEREZ MONTILLA

Autor de la tesis titulada : "MODELAMIENTO DE TRES ESPECIES FORESTALES PARA OBTENER SU DISTRIBUCION GEOGRAFICA, APLICANDO EL SOFTWARE MAXENT 3.4.1, DISTRITO DE TAHUANIA, PROVINCIA ATALAYA, REGIÓN DE UCAYALI"

Sustentada el año 2024

Asesor(a): Ing. M.Sc. MOISÉS TORRES VELASCO

Facultad: CIENCIAS FORESTALES Y AMBIENTALES

Escuela Profesional: INGENIERIA FORESTAL

Autorizo la publicación:

PARCIAL [ ] TOTAL [X]

De mi trabajo de investigación en el Repositorio Institucional de la Universidad Nacional de Ucayali (www.repositorio.unu.edu.pe), bajo los siguientes términos:

Primero: Otorgo a la Universidad Nacional de Ucayali licencia no exclusiva para reproducir, distribuir, comunicar, transformar (únicamente mediante su traducción a otros idiomas) y poner a disposición del público en general mi tesis (incluido el resumen) a través del Repositorio Institucional de la UNU, en formato digital sin modificar su contenido, en el Perú y en el extranjero; por el tiempo y las veces que considere necesario y libre de remuneraciones.

Segundo: Declaro que la tesis es una creación de mi autoría y exclusiva titularidad, por tanto me encuentro facultado a conceder la presente autorización, garantizando que la tesis no infringe derechos de autor de terceras personas, caso contrario, me hago único(a) responsable de investigaciones y observaciones futuras, de acuerdo a lo establecido en el estatuto de la Universidad Nacional de Ucayali, la Superintendencia Nacional de Educación Superior Universitaria y el Ministerio de Educación.

En señal de conformidad firmo la presente autorización.

Fecha: 01 / 02 / 2024

Email: braulio.montifores1@gmail.com Firma:

Teléfono: 988421570 DNI: 76448146

DEDICATORIA

Dedico está presente tesis como primera instancia a Dios por darme sabiduría, a mi madre Melita Montilla por su apoyo incondicional y estar siempre a mi lado, a mi abuelo Manuel Montilla, a mis hermanos Oliver Montilla, Brandon Montilla, Daniel Montilla, Gloria Montilla, Romina Montilla. Asimismo, a mis amigos del barrio, amigos de la Universidad y todas las personas que me brindaron su amistad sincera y apoyo incondicional, en especial en memoria de mi gran amigo y ex compañero universitario, Eduardo Chahua Espinoza, y muchas gracias a las personas que confiaron y apostaron por este humilde servidor.

AGRADECIMIENTO

A mis profesores de la Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales, por las enseñanzas brindadas, por ser los grandes ejemplos de superación, por brindarme sus enseñanzas, amistad y cariño.

Al Ing. Wilder Rolando Quispe Rojas, por el apoyo incondicional de su amplia experiencia para el desarrollo de la presente tesis, por la amistad y confianza brindada.

A mí asesor, el Ing. M. Sc. Moisés Torres Velasco, por su total apoyo y compromiso con el desarrollo de la presente tesis, por haberme brindado la confianza y por tanto haberme brindado la oportunidad de desarrollar esta tesis.

INDICE GENERAL

INTRODUCCIÓN 1

CAPITULO I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN 2

1.1. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA 2

1.2. PROBLEMAS DE LA INVESTIGACIÓN 3

1.2.1. PROBLEMA GENERAL. 3

1.2.2. PROBLEMAS ESPECÍFICOS. 3

1.3. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN. 3

1.3.1. OBJETIVO GENERAL. 3

1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS. 4

CAPITULO II. MARCO TEÓRICO 5

2.1. ANTECEDENTES 5

2.2. PLANTEAMIENTO TEORICO DEL PROBLEMA 11

2.3. DEFINICIÓN DE TÉRMINOS BÁSICOS 12

2.4. ESPECIES FORESTALES EN ESTUDIO 16

2.4.1. CUMALA BLANCA 16

2.4.2. TORNILLO 17

2.4.3. REQUIA 17

CAPITULO III. METODOLOGÍA 19

3.1. ÁREA DE ESTUDIO. 19

3.2. MÉTODO DE INVESTIGACIÓN 20

3.3. POBLACIÓN Y MUESTRA 20

3.4. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS PARA RECOLECCIÓN DE DATOS 21

3.4.1. MATERIALES 21

3.4.2. RECOLECCIÓN DE DATOS 21

3.5. PROCEDIMIENTO DE RECOLECCIÓN DE DATOS 22

3.5.1. BASE DE DATOS DE LAS ESPECIES FORESTALES. 22

3.5.2. ORDENAMIENTO DE DATOS DIGITALES 24

3.6. TRATAMIENTO DE DATOS 30

CAPITULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN 32

4.1. RESULTADOS 32

4.1.1. MODELAMIENTO DE LAS TRES ESPECIES FORESTALES SEGÚN LOS DATOS BIOCLIMÁTICOS 32

4.1.2. LAS CURVAS ROC (RECEIVER OPERANTING CHARACTERISTIC) DE LAS 3 ESPECIES FORESTALES 39

4.1.3. MAPAS DE DISTRIBUCIÓN GEOGRÁFICA DE TRES ESPECIES FORESTALES 42

4.2. DISCUSION DE RESULTADOS 46

CAPITULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES 47

5.1. CONCLUSIONES 47

5.2. RECOMENDACIONES 48

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS 49

ANEXOS 60

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Numero de datos de ocurrencia obtenidas de las diferentes bases de datos y que fue insumo para el proceso de modelado en Maxent 25

Tabla 2. Numero de datos de ocurrencia obtenidas de la especie Cumala blanca (*Virola peruviana (A.DC.) Warb.),* el cual fue insumo para el proceso de modelado en Maxent 3.4.1. 25

Tabla 3. Numero de datos de ocurrencia obtenidas de la especie Tornillo (*Cedrelinga cateniformis.),* el cual fue insumo para el proceso de modelado en Maxent 3.4.1. 26

Tabla 4. Numero de datos de ocurrencia obtenidas de la especie Requia (*Guarea glabra Vahl.),* el cual fue insumo para el proceso de modelado en Maxent 3.4.1……..... 27

Tabla 5. Variables climáticas, topográficas y NDVI 29

Tabla 6. Porcentaje de contribución de las capas climáticas en el proceso de modelado en Maxent 32

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Mapa de ubicación y localización del distrito de Tahuania……19

Figura 2. Mapa de ocurrencia obtenidas de la especie Cumala blanca (*Virola peruviana (A.DC.) Warb.*), el cual fue insumo para el proceso de modelado en Maxent 3.4.1……..……26

Figura 3. Mapa de ocurrencia obtenidas de la especie Tornillo (*Cedrelinga cateniformis.*), el cual fue insumo para el proceso de modelado en Maxent 3.4.1……..……..……27

Figura 4. Mapa de ocurrencia obtenidas de la especie Requia (*Guarea glabra Vahl.*), el cual fue insumo para el proceso de modelado en Maxent 3.4.1……..……..……28

Figura 5. Partes del interfaz del software Maxent……31

Figura 6. Curva de respuesta de Precipitación del Trimestre Más Seco (Bio 17) en el modelado de distribución de *Cedrelinga cateniformis* (Tornillo)……33

Figura 7. Curva de respuesta de Precipitación del trimestre más húmedo (Bio 16) en el modelado de distribución de *Cedrelinga cateniformis* (Tornillo)……34

Figura 8. Curva de respuesta de Índice de vegetación normalizada (NDVI) en el modelado de distribución de *Guarea glabra Vahl* (Requia)……35

Figura 9. Curva de respuesta de Temperatura media del trimestre más cálido (Bio 10) en el modelado de distribución de *Guarea glabra Vahl* (Requia)……..36

Figura 10. Curva de respuesta de precipitación del trimestre más seco (Bio 17) en el modelado de distribución de *Virola peruviana (A.DC.) Warb.* (Cumala blanca)……37

Figura 11. Curva de respuesta de Modelo Digital de Elevación (DEM) en el modelado de distribución de *Virola peruviana (A.DC.) Warb.* (Cumala blanca)..38

Figura 12. Curva ROC y valor AUC en el proceso de modelado en Maxent para la especie de *Cedrelinga cateniformis* (Tornillo)……..39

Figura 13. Curva ROC y valor AUC en el proceso modelado en Maxent para la especie de *Guarea glabra Vahl* (Requia)……..40

Figura 14. Curva ROC y valor AUC en el proceso de modelado en Maxent para la especie de *Virola peruviana (A.DC.) Warb.* (Cumala blanca)……41

Figura 15. Mapa de distribución potencial y áreas de presencia de *Cedrelinga cateniformis* (Tornillo) en el distrito de Tahuania, Ucayali…….42

Figura 16. Mapa de distribución potencial y áreas de presencia de *Guarea glabra Vahl* (Requia) en el distrito de Tahuania, Ucayali……43

Figura 17. Mapa de distribución potencial y áreas de presencia de *Virola peruviana (A.DC.) Warb.* (Cumala blanca) en el distrito de Tahuania, Ucayali…45

Figura 18. Interfaz de Maxent y los datos de Tornillo para el modelado…….60

Figura 19. Interfaz de Maxent y los datos de Requia para el modelado……..60

Figura 20. Interfaz de Maxent y los datos de Cumala blanca para el modelado..61

Figura 21. Resultados del proceso de modelado en Maxent……61

Figura 22. Visualización previa de resultados HTML del modelado en Maxent...62

RESUMEN

Los modelos de distribución de especies (MDE), predicen de rango geográfico potencial para una especie, basada en características ambientales y puntos de las presencias de las especies, y es una de las metodologías actuales para estudios de distribuciones de las especies en su hábitat natural. Utilice esta metodología para el estudio de especies forestales del distrito de Tahuania, provincia de Atalaya, región Ucayali, Perú, que como objetivo me plantee determinar el modelamiento de tres especies forestales para obtener su distribución geográfica, aplicando el software MAXENT. Utilice 18 registros de presencia para *Cedrelinga cateniformis* (Tornillo), 18 para *Guarea glabra Vahl* (Requia) y 15 registros para *Virola peruviana (A.DC.) Warb.* (Cumala blanca), juntamente con las 19 capas bioclimáticas, NDVI y DEM. En donde obtuve un buen desempeño de modelado con AUC superiores a 0.8. Y las capas climáticas más importantes fueron Precipitación del trimestre más seco, DEM y NDVI. Además, las áreas de distribución potencial son: 491.04 km^2 para *C. cateniformis* (Tornillo), 364.62 y 738.03 km^2 ha para *G. trichilioides* (Requia) y *Virola peruviana (A.DC.) Warb.* (Cumala blanca) respectivamente.

Palabras claves: Maxent, Variables climáticas, Curvas ROC (Característica operativa del receptor), Modelamiento, AUC.

ABSTRACT

Species distribution models (SDMs) predict the potential geographic range for a species, based on environmental characteristics and species occurrence points, and it is one of the current methodologies for studies of species distributions in their natural habitat. Use this methodology for the study of forest species in the Tahuania district, Atalaya province, Ucayali Tahuania region, Ucayali, Peru, which as an objective I set out to determine the modeling of three forest species to obtain their geographical distribution, applying the Maxent software. Use 18 occurrence records for *Cedrelinga cateniformis* (Tornillo), 18 for *Guarea glabra Vahl (Requia)* and 15 records for *Virola peruviana (A.DC.) Warb..* (Cumala blanca), together with the 19 bioclimatic layers, NDVI and DEM. Where I got good modeling performance with AUC greater than 0.8. and the most important climate layers were Precipitation of the driest quarter, DEM and NDVI. In addition, the potential distribution areas are: 491.04 km^2 for *C. cateniformis* (Tornillo), 364.62 and 738.03 km^2 ha for *G. trichilioides* (Requia) and *Virola peruviana (A.DC.) Warb* (Cumala blanca) respectively.

Keywords: Maxent, Climatic variables, ROC curves (Receiver Operanting Characteristic), Modeling, AUC.

INTRODUCCIÓN

Los modelos de distribución de especies (MDE), es una herramienta estadística correlativa que cuantifica las relaciones entre especies y medio ambiente, en general es describir el nicho ambiental de una especie para predecir dónde se dan las condiciones ambientales adecuadas para su presencia en el paisaje (Baer & Maron, 2020). La importancia del MDE radica en que se hacen predicciones basadas en correlaciones entre registros de presencia de una especie y las condiciones ambientales, edáficas o topográficas en una área determinada, estableciendo así, las condiciones ambientales que corresponden a la presencia de una especie (Bucklin et al., 2015; Cheng et al., 2021). Durante las últimas dos décadas, los MDE se ha fortalecido a partir del desarrollo de tecnologías informáticas enfocadas al desarrollo de algoritmos, software y paquetes de acceso libre (Mota Vargas et al., 2020). Y estos modelos se pueden utilizar ampliamente en muchos campos, como la ecología de invasión y conservación, la biogeografía, planificación forestal y la epidemiología (Escobar & Craft, 2016; Liu et al., 2018).

Aplicar la tecnología en el aprovechamiento o restauración de bosques, ayuda a una mejor gestión de bosques, con datos más exactos, en menor tiempo y disminuyendo el costo del aprovechamiento (Chaves et al., 2020; Němec, 2015; Tao et al., 2021). Al combinar datos de campo del inventario forestal nacional peruano, datos de sensores remotos y aprendizaje automático, derivé un mapa que muestra los patrones previstos en la composición comunitaria de las especies de árboles; Tornillo, Cumala blanca y Requia.

CAPITULO I.

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

En los últimos años, en el sector forestal mundial, se están produciendo desarrollos muy importantes, diversas tecnologías de aprovechamiento, para la cuantificación de biomasa de los bosques. El Perú al ser un país forestal, se está aplicando la tecnología a una escala menor, debido a la falta de información. Limitando la capacidad para generar iniciativas, programas o proyectos de conservación, restauración, forestación, reforestación en ecosistemas de mediana a gran escala (Rojas, 2022).

La región Ucayali, es conocida como una región de producción forestal por su amplia extensión de bosque primario que aún posee. Actualmente sólo se pueden dar con la ubicación de áreas con especies forestales aprovechables que fueron el resultado de un censo, a partir de personas con experiencia en campo, que estas a su vez han desarrollado su propia técnica o metodología. Y estas a la vez teniendo diferentes dificultades por el acceso al área, el tiempo, el clima, etc., por el mismo hecho de no poder conocer la información topográfica de las diferentes áreas. En cambio, con la realización de modelamiento de distribución de especies forestales, establecido a partir de un sistema de información geográfica, podemos lograr obtener datos de las ubicaciones geográficas potenciales de las diferentes especies forestales, estas generadas por el software Maxent y apoyadas en diferentes plataformas. Dando de esta manera un mayor ahorro de tiempo e inversión para los interesados.

Debido a la aplicabilidad de esta metodología me planteé las siguientes preguntas, para las especies de *Cedrelinga cateniformis* (Tornillo), Guarea glabra Vahl (Requia) y Virola peruviana (A.DC.) Warb (Cumala Blanca), por su gran importancia maderable.

1.2. PROBLEMAS DE LA INVESTIGACIÓN

1.2.1. Problema general

- ¿Es factible determinar el modelamiento de las tres especies forestales para obtener su distribución geográfica, mediante el software Maxent 3.4.1, en el distrito de Tahuania, provincia de Atalaya, región Ucayali?

1.2.2. Problemas específicos

- ¿Cómo es el modelamiento de las tres especies forestales según los datos bioclimáticos la temperatura, precipitación, datos topográficos de altitud y índices de vegetación (NDVI) en el distrito de Tahuania?
- ¿Cómo es el comportamiento de las curvas ROC (Característica operativa del receptor) de las 3 especies forestales, en el distrito de Tahuania?
- ¿Cómo son las distribuciones geográficas de tres especies forestales?

1.3. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN.

1.3.1. OBJETIVO GENERAL.

- Determinar el modelamiento de tres especies forestales para obtener su distribución geográfica, aplicando el software Maxent 3.4.1, en el distrito de Tahuania, provincia de Atalaya, región Ucayali.

1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.

- Modelar las tres especies forestales según los datos bioclimáticos la temperatura, precipitación, datos topográficos de altitud y índices de vegetación (NDVI).
- Establecer las curvas ROC (Característica operativa del receptor) de las 3 especies forestales.
- Generar los mapas de distribución geográfica de tres especies forestales.

CAPITULO II.

MARCO TEÓRICO

2.1. ANTECEDENTES

2.1.1. Internacionales

Karichu et al., (2022) en su artículo científico denominado “Las distribuciones potenciales de las especies africanas de Azolla y sus implicaciones para los ecosistemas de humedales africanos en el futuro”, examinaron la distribución potencial de tres especies de helechos acuáticos del género *Azolla* en África bajo escenarios de cambio climático proyectados. Utilizaron los algoritmos de Maxent para crear modelos de nichos ecológicos de las tres especies utilizando datos de ocurrencia y variables ambientales. Todos los modelos tenían valores AUC y TSS satisfactorios, lo que indica una alta precisión de predicción (AUC y TSS > 0,801). En sus resultados mostraron que la elevación y la precipitación fueron las variables más importantes que limitan la expansión de la especie en el futuro. Además, observaron variaciones significativas en los nichos climáticos de las tres especies y sus distintas regiones climáticamente apropiadas. Los rangos de distribución potencial actuales para la especie variaron entre 2.328.726 km^2 y 4.026.363 km^2. De acuerdo con las predicciones del modelo para el período actual, el rango potencial de la especie *Azolla* se extiende fuera de los lugares conocidos y registrados; sin embargo, bajo condiciones climáticas futuras, se proyectó que la especie perdería entre el 8,1 % y el 48 % de sus hábitats adecuados debido al cambio climático. Concluyendo que los hallazgos de su investigación pueden usarse para desarrollar medidas de conservación sostenibles para especies acuáticas y crear conciencia sobre los efectos del cambio climático.

Behroozian et al., (2022) en su artículo científico titulado “Predicciones de distribución de alta resolución y pruebas de campo para la planta en peligro crítico Dianthus pseudocrinitus Ciencia y práctica de la conservación”, que tuvo como objetivo evaluar la capacidad de los modelos de nicho ecológico para predecir la distribución de la especie por medio de un muestreo de campo detallado a lo largo del rango geográfico de la especie, en donde combinó datos de sensores remotos (Índice de vegetación de diferencia normalizada) y muestreo de campo para aumentar el conocimiento de la distribución de la especie y mejorar la comprensión de su estado de conservación. Identificaron numerosos sitios nuevos para una planta rara (*Dianthus pseudocrinitus*) y probó predicciones basadas en modelos de su distribución geográfica completa. Usando solo ocho ocurrencias, desarrollaron modelos iniciales, que guiaron el muestreo de campo detallado: se identificaron 11 nuevos sitios, pero los modelos no pudieron predecir mejor que las expectativas aleatorias. Una segunda ronda de modelos mostró una capacidad predictiva significativa y apuntó a una distribución geográfica y ambiental más amplia de la especie. Concluyeron, que el estado de conservación de la especie debe pasar de En Peligro Crítico a En Peligro. Identificaron seis áreas protegidas (Golestan, Ghorkhoud, Miandasht, Salouk, Sarani, Sarigol) que probablemente albergan poblaciones de esta especie; un área adyacente al Área Protegida de Ghorkhoud, si estuviera protegida, protegería las poblaciones más conocidas de la especie.

Shankhwar et al., (2019) en su revista Ingeniería Ecológica denominado “Mapeo potencial de ecodistribución de Myrica esculenta en el noroeste del Himalaya.”, que tuvo como objetivo, mapear la distribución

geográfica y predecir la presencia potencial de *Myrica esculenta* en Uttarakhand, India. Utilizaron la tecnología basada en el Sistema de Información Geográfica y de Detección Remota (RS & GIS) para el modelado de predicción y el mapeo de distribución ecológica. En total, se registraron datos geoespaciales de ocurrencia de 1022 especies para *M. esculenta*. Los estudios de campo proporcionaron una amplia gama de pendientes, aspectos y elevaciones de la especie. Las coordenadas geográficas bien distribuidas (30,52%) se utilizaron en el modelo Maxent para predecir la distribución. Encontrando que los resultados del modelo de Maxent eran muy precisos con un valor de AUC estadísticamente muy significativo de 0,913 ± 0,020. La prueba de la Información visual del modelo de mapas y gráficos, reveló la estacionalidad de la temperatura (Bio 4), la temperatura media del trimestre más húmedo (Bio 8), la pendiente y la precipitación del mes más seco (Bio 14) contribuyeron significativamente en la predicción de la distribución. El mapa de distribución ecológica, preparado con imágenes de satélite LANDSAT-8, mostró un área geográfica de 477.26 km^2 bajo la distribución de *M. esculenta*. Dentro del área total se observaron 111.17, 260.52 y 105.57 km^2 bajo bosque muy denso, moderadamente denso y abierto, respectivamente. El área de distribución potencial calculada en imagen satelital ASTER – GDEM fue de 2017.14 km^2. Concluyeron que el presente estudio proporciona el primer mapa de distribución ecológica y genera datos de referencia de *M. esculenta* en Uttarakhand, India.

Bobrowski et al., (2017) en su revista Ecología y Conversación Globales denominado “Modelado de la distribución potencial de Betula utilis en el Himalaya”, que tuvo como objetivo modelar la distribución potencial de *Betula*

utilis en relación con las condiciones climáticas actuales. Generamos un conjunto de datos de 590 registros de ocurrencia y usaron 24 variables para el modelado de nichos ecológicos. Obteniendo, que todos los modelos tenían un alto poder predictivo (AUC ≥ 0,98 y TSS ≥ 0,89). El área adecuada proyectada en las montañas del Himalaya varía considerablemente, con una distribución más extensa en la región occidental y central del Himalaya. Concluyendo que, analizar y comprender los factores ambientales que impulsan la distribución actual de *B. utilis* es crucial para la predicción de futuros cambios de rango de *B. utilis* y otras especies de la línea de árboles, y para derivar estrategias apropiadas de adaptación al cambio climático.

Deb et al., (2017) en su revista de Gestión Ambiental denominado "Cambios inducidos por el clima en la distribución de la teca (*Tectona grandis*) en Asia tropical: implicaciones para la gestión y planificación forestal", que tuvo como objetivo modelar la distribución de teca en toda su distribución nativa en Asia tropical y su distribución no nativa en Bangladesh. Usaron registros de solo presencia de árboles y doce variables ambientales que eran más representativas para las distribuciones actuales de teca en el sur y sureste de Asia. Utilizaron el algoritmo de Maxent (máxima entropía) para modelar las distribuciones de la teca en escenarios climáticos actuales y futuros. Descubrieron que el cambio en el uso de la tierra/cobertura de la tierra y la elevación eran las dos variables más importantes que explicaban las distribuciones actuales y futuras de la teca nativa y no nativa en Asia tropical. Los cambios en la precipitación anual, la estacionalidad de la precipitación y la evapotranspiración real media anual pueden provocar cambios en la distribución de la teca en Asia tropical. Concluyeron, que el cambio en el uso de la tierra/cobertura de la tierra y la

elevación eran las dos variables más importantes que explicaban las distribuciones actuales y futuras de la teca nativa y no nativa en Asia tropical. Los cambios en la precipitación anual, la estacionalidad de la precipitación y la evapotranspiración real media anual pueden provocar cambios en la distribución de la teca en Asia tropical.

Pando & Giles, (2007) en su revista denominado “Aplicación de modelos de distribución de especies a la conservación de la biodiversidad en el sureste de la Península Ibérica”, aplicaron los modelos de distribución de especies presenciales, desarrollando una estrategia de modelización con algoritmos y también seleccionaron los modelos óptimos mediante la curva ROC y muestras aleatorias. Generando modelos de habitad de la especie vegetal *Linaria nigricans*, por su principal motivo de amenaza. Concluyendo que las técnicas de modelización múltiple mediante algoritmos de solo presencia, selección y evaluación de los modelos más óptimos permiten obtener la distribución de la especie modelada con un alto grado de precisión. Además, mencionan que generar muestras aleatorias aplicadas a la evaluación de modelos mediante la curva ROC (AUC) permite validar el resultado de diferentes algoritmos y el mejor resultado se obtuvo con los algoritmos Maxent.

2.1.2. Nacionales

Quispe Rojas, (2022) en su artículo científico denominado “Modelamiento de los efectos del cambio climático en la distribución potencial de seis especies del género Polylepis en los andes Peruanos”, que se propuso modelar los efectos del cambio climático en la distribución potencial de seis especies del género *Polylepis spp*. Utilizó 118 puntos de presencias de las

especies y capas climáticas actuales y futuras, para modelar con el algoritmo de Máxima Entropía, en donde obtuvo que su modelamiento tuvo el área bajo la curva (AUC) superiores a 0.9, cuantificando las migraciones de las especies en el futuro de *Polylepis albicans, P. argéntea, P. flavipila, P. multijuga, Polylepis Rodolfo-vasquezii* y *P. subsericans*, obteniendo perdidas de áreas de distribución superiores a los 44% de su distribución actual. Concluyendo que las regiones prioritarias para la conservación y las áreas naturales protegidas de alta prioridad para la preservación de las especies estudiadas, son vitales para la conservación de las especies alto andinas.

Rubén Mateo et al., (2012) en su artículo científico denominado "Modelos de distribución de especies: Una revisión sintética", que tuvo como objetivo sintetizar la información disponible en la actualidad acerca de la modelización de la distribución de especies, determina que en los últimos años se va extendiendo nuevas técnicas que nos permite estudiar la distribución de diversos organismos que son los modelos de distribución de especies de Flora y Fauna. Las cuales parten de datos disponibles en línea, que nos permiten inferir las en las características idóneas en presencia de las especies en factor a las características ambientales en donde se distribuye la especie. Esta revisión concluye que los modelos de distribución de especies en una técnica en evolución donde aún queda mucho trabajo por hacer desde el punto de vista metodológico, especialmente a la hora de incluir los factores espacial, temporal y biótico en su forma de operar. La limitante son los datos insuficientes de las presencias de las especies. A pesar de estas limitaciones, un elevado número de estudios han demostrado su utilidad en campos en los que pocas técnicas

nos pueden brindar ayuda para entenderlos, como predecir la presencia de especies aún no descritas.

2.2. PLANTEAMIENTO TEORICO DEL PROBLEMA

2.2.1. Organismo de Supervisión de los Recursos Forestales y de Fauna Silvestre – OSINFOR.

(OSINFOR, 2016) El Organismo de supervisión de los Recursos Forestales y de Fauna Silvestre – OSINFOR, en su labor de fortalecimiento y desarrollo de capacidades, genera documentos técnicos como insumos que contribuyan en la comunidad académica, de investigación y el sector forestal. Para ello se presenta este documento que consiste en el Modelamiento de la Distribución Potencial de 18 Especies Forestales en el d epartamento de Loreto, tomando en cuenta su representatividad bioecológica y su extensión territorial.

2.2.2. Organismo de Supervisión de los Recursos Forestales y de Fauna Silvestre – OSINFOR.

(OSINFOR, Modelamiento espacial de Nichos Ecológicos, 2013) El modelamiento espacial de nichos ecológicos para la evaluación de presencia de especies forestales, nos indica la idoneidad del ambiente para el desarrollo de poblaciones de una especie, calculada a partir de observaciones de campo y una serie de variables bioclimáticas que actúan como predictores; esto nos permite mejorar significativamente la comprensión y el monitoreo de la biodiversidad puesto que los resultados obtenidos de los análisis permiten formular estrategias de intervención mejor enfocadas e implementarlas de manera más efectiva. En la presente publicación, se realiza el modelamiento de 18 especies forestales de alto

valor comercial de las regiones amazónicas del Perú, con la finalidad de evaluar su distribución y probabilidad de presencia en base al nicho ecológico determinado por sus variables bioclimáticas. Esta publicación se emite con la finalidad de ampliar el conocimiento de nuestra amazonia, para promover su conservación y aprovechamiento sostenible zonificando su potencial maderable.

2.3. DEFINICIÓN DE TÉRMINOS BÁSICOS

Algoritmos de modelos de distribución de especies: Hay una variedad de algoritmos como: modelos envolventes (Pearson & Dawson, 2003) el uso de modelos aditivos y lineales generalizados (Guisan et al., 2002), árboles y bosques de regresión (Elith et al., 2008) y Maxent (Phillips et al., 2006).

Curvas ROC (Característica operativa del receptor): es una curva que representa la relación entre la fracción de falsos positivos (1 especificidad) y la sensibilidad (tasa de verdaderos positivos) para un rango de umbrales. El buen desempeño del modelo se caracteriza por una curva que maximiza la sensibilidad para valores bajos de (1 especificidad), es decir, cuando la curva pasa cerca de la esquina superior izquierda de la gráfica. El área bajo esta curva (AUC) mide la discriminación del modelo. Un valor de AUC de 0,5 puede interpretarse como que el modelo no funciona mejor que una predicción aleatoria, con puntuaciones cercanas a 1 que indican un rendimiento progresivamente mejor. Un valor de 0,8 para el AUC significa que durante el 80% del tiempo, una selección aleatoria de ubicaciones de presencia tendrá una predicción mayor que una selección aleatoria de ubicaciones de ausencia (Fielding & Bell, 1997).

Área de distribución de la especie: entendida como el lugar o espacio en donde una especie puede ser localizada o ubicada, aquella porción de tierra o espacio geográfico donde una especie está presente e interactúa en un ecosistema (Maciel-Mata et al., 2015).

Índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI): es un indicador importante para evaluar el cambio de vegetación, monitorear los flujos de la superficie terrestre o predecir modelos de cultivo (Militino et al., 2017). Utiliza datos de detección remota multiespectral para encontrar el índice de vegetación, la clasificación de la cobertura terrestre, la vegetación, los cuerpos de agua, el área abierta, el área de matorrales, las áreas montañosas, el área agrícola, el bosque espeso, el bosque delgado con pocas combinaciones de bandas de los datos de detección remota. El método NDVI se aplica de acuerdo con su característica como vegetación en diferentes valores de umbral de NDVI que van desde -1 que representan áreas sin vegetación 1 que son bosques o cultivos en un buen estado (Gandhi et al., 2015).

Maxent (Máxima Entropía): es un enfoque ampliamente utilizado para el modelado de distribución de especies, que utiliza el concepto de máxima entropía (Phillips et al., 2006). Elith et al., (2006) proporcionó un análisis exhaustivo de la utilidad de diferentes algoritmos de modelado para datos de solo presencia y concluyó que Maxent era uno de los algoritmos más útiles. Este resultado, junto con el software disponible que es relativamente sencillo de implementar, ha llevado a un uso generalizado de Maxent. Además, con frecuencia se observa que Maxent es uno de los únicos algoritmos de modelado de distribución común diseñado específicamente para datos de solo presencia, porque Maxent no asume que los puntos de fondo son ubicaciones donde la

especie no se encuentra (es decir, no asume los puntos de fondo son ausencias), a diferencia del uso estándar de GLM, GAM y Random con datos de presencia y fondo (Merow et al., 2013).

Modelamiento de distribución de especies (MDE): Se aplican para pronosticar la ubicación geográfica y ecológica de una especie de acuerdo a las condiciones ambientales de la especie (Qazi et al., 2022). Los MDE sin duda han sido muy útiles. Han ayudado a mapear las distribuciones de especies crípticamente similares, revelaron patrones biogeográficos, contribuyeron a nuestra comprensión del nicho, sugirieron lugares para buscar nuevas poblaciones no detectadas de especies modeladas y ayudaron a encontrar sitios adecuados para la reintroducción de especies amenazadas (Sinclair et al., 2010).

Modelamiento matemático: Los modelos numéricos y las simulaciones han demostrado crear resultados satisfactorios en fenómenos naturales en un tiempo limitado. Especialmente, con la evidencia de las supercomputadoras con altas capacidades computacionales, el uso de estos modelos numéricos se ha vuelto muy popular (Mohtashami et al., 2022), Sin duda, el mejor enfoque para comprender el comportamiento de un sistema como los modelados de distribución de especies, es realizar un conjunto de estudios de campo en todas las áreas de interés. Sin embargo, es prácticamente imposible debido a las limitaciones en el presupuesto y que requiere mucho tiempo. Optar por los modelos matemáticos para cuantificar áreas y ver su distribución de las especies es la mejor alternativa (Mohtashami et al., 2022; Rubén Mateo et al., 2012).

Modelo digital de elevación (DEM): Un DEM es un de una superficie generada a partir de los datos de elevación (es la distancia vertical que existe entre un punto de la tierra y el nivel del mar) que se utiliza para varios análisis geoespaciales(San & Süzen, 2005).

Sistemas de información geográfica (SIG): Son sistemas que se utilizan para almacenar, recuperar, analizar y mostrar datos que se representan espacial o geográficamente de un espacio o área(Lü et al., 2019). Entre tantas funcionalidad y desafíos de SIG están incluidos los modelados de datos con características geográficas como: Impulsar el desarrollo de técnicas para elaboración de modelos predictivos para la distribución de especies y que en el futuro puedan servir de gran ayuda para elaborar diseños de muestreos, designados a colectar nuevas informaciones y observaciones con la finalidad de tomar dediciones para su conservación o aprovechamiento (Lü et al., 2019; Savino et al., 2014).

Variables bioclimáticas (Bio): Son datos derivados de los valores mensuales de temperatura y precipitación para generar variables biológicamente más significativas. Estos se utilizan a menudo en el modelado de distribución de especies y técnicas de modelado ecológico relacionadas (Berio Fortini et al., 2022; Fick & Hijmans, 2017).

Son las siguientes:

- BIO1 = Temperatura Media Anual.
- BIO2 = Intervalo medio diurno (media mensual (temperatura máxima - temperatura mínima)).
- BIO3 = Isotermalidad (BIO2/BIO7) (×100).

- BIO4 = Estacionalidad de la temperatura (desviación estándar ×100).
- BIO5 = Temperatura máxima del mes más cálido.
- BIO6 = Temperatura mínima del mes más frío.
- BIO7 = Rango Anual de Temperatura (BIO5-BIO6).
- BIO8 = Temperatura media del trimestre más húmedo.
- BIO9 = Temperatura Media del Cuarto Más Seco.
- BIO10 = Temperatura media del trimestre más cálido.
- BIO11 = Temperatura media del trimestre más frío.
- BIO12 = Precipitación Anual.
- BIO13 = Precipitación del mes más lluvioso.
- BIO14 = Precipitación del mes más seco.
- BIO15 = Estacionalidad de la Precipitación (Coeficiente de Variación).
- BIO16 = Precipitación del trimestre más húmedo.
- BIO17 = Precipitación del Trimestre Más Seco.
- BIO18 = Precipitación del trimestre más cálido.
- BIO19 = Precipitación del trimestre más frío.

2.4. ESPECIES FORESTALES EN ESTUDIO

2.4.1. CUMALA BLANCA

Familia: Myristicaceae.

Nombre científico: *Virola peruviana (A.DC.) Ward.* (MINAGRI, 2019)

Nombres comunes: Cumala; Cumala Blanca; etc.

Descripción Botánica: Árbol de hasta 30 m de atura total, altura comercial entre 17 a 20 m. con un Dap aproximado de 60cm de copa plana a redonda, con ramificaciones más o menos verticales, el fuste posee

fisuras anchas y poco profundas, desprendimiento de escamas gruesas (Reynel et al., 2003).

Clima: Tropical húmedo, con temperatura media anual de 22 a 26ºC y precipitación pluvial entre 1 500 a 3 800 mm anuales.

2.4.2. TORNILLO

Familia: Fabaceae.

Nombre científico: *Cedrelinga cateniformis (Ducke) Ducke*. (MINAGRI, 2019)

Nombres Comunes: Tornillo; achapo blanco; tornillo rosado; etc.

Descripción botánica: Árbol de fuste recto y cilíndrico; especie dominante, alcanza una altura total de 40 m. con una altura comercial de aproximadamente 25 m, y un Dap de 1 m. Se ramifica a partir del tercio superior con ramas gruesas, formando una copa abierta, corteza longitudinal rugosa con ritidoma, las cuales se desprende en placas rectangulares, el color de la corteza pardo oscuro en la parte externa y en la parte interna color rosada (Reynel et al., 2003).

Clima: Se encuentra en los departamentos de Ucayali, Iquitos, Huánuco y Cuzco. Se hallan en formaciones ecológicas de bosques húmedo tropical (bh-t) y bosque húmedo sub-tropical (bh-st). Con un promedio de clima de 22°C a 32°C. Se da en bosques de tierra firme de preferencia en los nacimientos de agua y en el curso superior de riachuelos (Reynel et al., 2003).

2.4.3. REQUIA

Familia: Meliaceae.

Nombre científico: *Guarea glabra Vahl.* (MINAGRI, 2019)

Nombres Comunes: Requia; Requia blanca; Yecheñor; etc.

Descripción botánica: Árbol de hasta 25 m de altura total y 90 cm de diámetro, tronco derecho con pequeños aletones, copa grande y densa, la corteza superficial es áspera de color gris pardo, con apariencia fisurada y agrietada, la corteza muerta se parte en pedazos pequeños que no se desprenden fácilmente. Hojas de hasta 35 cm de largo, con hasta 6 pares de folíolos; folíolos usualmente oblongos, menos frecuentemente elípticos, de 12–20 cm de largo y 4–7 cm de ancho, ápice angostamente atenuado, base aguda, cuneada o atenuada (Reynel et al., 2003).

Clima: La temperatura promedio es de 18°C a 35°C, con una Precipitación de promedio anual de 1500-1700 mm.

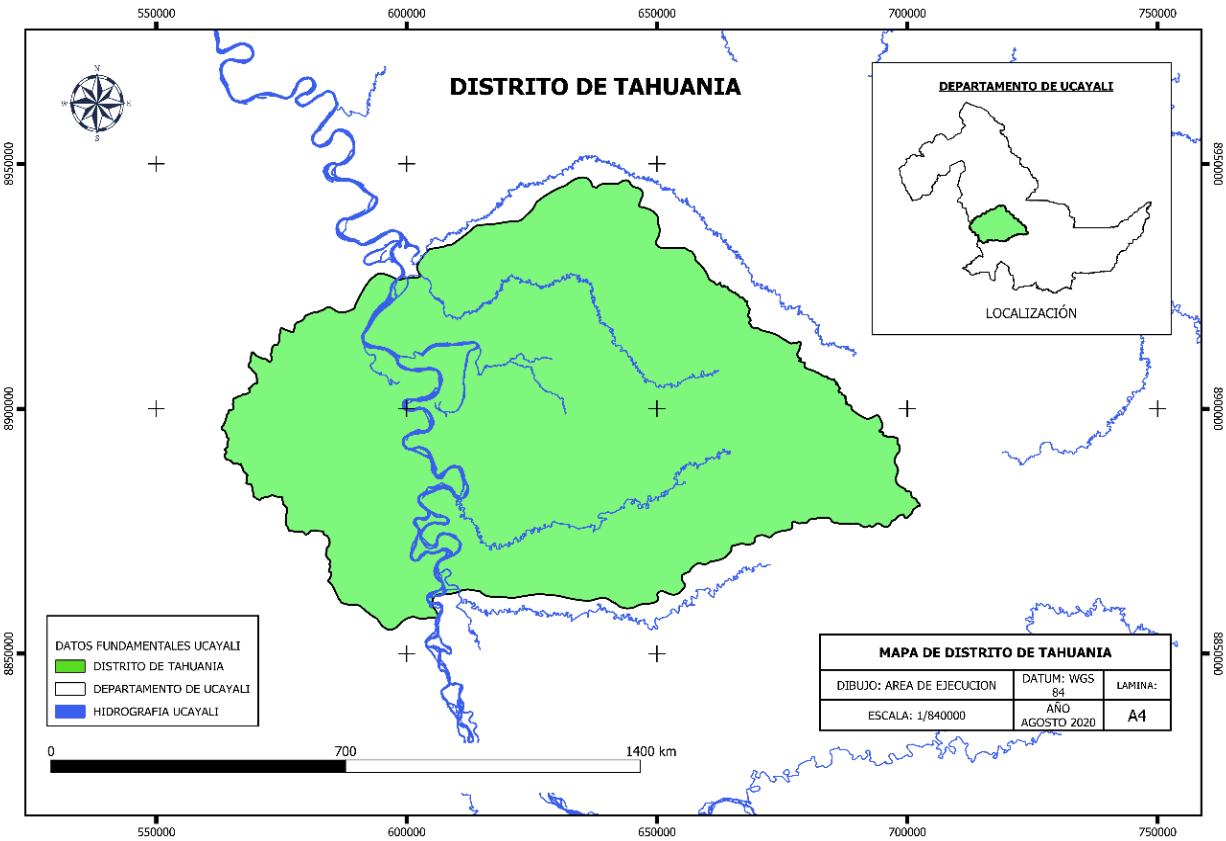
CAPITULO III.

METODOLOGÍA

3.1. ÁREA DE ESTUDIO.

El área de estudio está situada en el distrito de Tahuanía entre las coordenadas UTM E 628656 N 8897599, a 200 m.s.n.m. Perteneciente a la provincia de Atalaya, región Ucayali, Perú (Fig. 1). El distrito de Tahuanía, abarca una superficie de 7232.58 km², en este distrito predomina el bosque húmedo tropical (bh-T), el cual posee un clima cálido, con variaciones ligeras de épocas secas y lluviosas. Se establece un promedio de precipitación de 1500 a 2100 mm/año, con promedio de humedad relativa está en 83% con una disminución en los meses de mayo a octubre de cada año (MINAM, 2019).

Figura 1.
Mapa de ubicación y localización del distrito de Tahuania.



3.2. MÉTODO DE INVESTIGACIÓN

Método de investigación

El tipo de investigación es investigación aplicada, con un diseño no experimental porque no se manipularon las variables independientes, se observó los fenómenos tal y como se dan en su contexto natural, para después utilizarlos y analizarlos en el modelamiento de distribución de las especies, el nivel de investigación es explicativa, tratando de identificar relaciones de causalidad, como en el caso de este estudio identificamos la distribución de las tres especies forestales, de acuerdo al clima del lugar. (Savino & Romero, 2018).

3.3. POBLACIÓN Y MUESTRA

LA POBLACIÓN: La población en este estudio está constituido por el área geográfica de la provincia de Atalaya en un área de 38 924 km²**,** ubicada en la región Ucayali.

LA MUESTRA: La muestra del presente estudio, se ha seleccionado de acuerdo con el criterio del investigador, la que está compuesta por un área de 7 232.58 km², el cual estará integrada por las 3 especies forestales de actual aprovechamiento:

- CUMALA BLANCA (*Virola peruviana (A.DC.) Warb.*).
- TORNILLO (*Cedrelinga cateniformis (Ducke) Ducke*.).
- REQUIA (*Guarea glabra Vahl.*).

3.4. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS PARA RECOLECCIÓN DE DATOS

3.4.1. MATERIALES

Los materiales que se utilizaron en el trabajo fueron los siguientes:

Materiales

- Útiles de escritorio
- Data base de registros de especies

Equipos

- Laptop, con alta capacidad de memoria y procesador

Software

- QGIS (https://www.qgis.org/es/site/)
- R project (https://www.r-project.org/)
- R estudio (https://www.rstudio.com/)
- Maxent (https://biodiversityinformatics.amnh.org/open_source/Maxent /)
- Java (https://www.oracle.com/java/)

Insumos

- Datos de elevación (DEM): (https://earthexplorer.usgs.gov/)
- Datos Sentinel 2 para NDVI: (https://earthexplorer.usgs.gov/)
- Bioclimáticas (Bios): (https://www.worldclim.org/data/worldclim21.html)
- Base de datos geográficos (https://visor.geoperu.gob.pe/)
- Libreta de apuntes.

3.4.2. RECOLECCIÓN DE DATOS

Los datos de Modelos Digitales de Elevación (DEM) se hizo la descarga directa de la base de datos de Earth Explorer, tomando como punto de referencia el distrito de Tahuania. El Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI), se obtuvo de las imágenes Sentinel 2, descargada del base

de datos de Earth Explorer, que el cálculo del NDVI se obtuvo con la siguiente fórmula: NDVI = (NIR-Red) / (NIR+Red). Las capas bioclimáticas que consiste en la combinación de raster de Temperatura y precipitación de hizo la descarga directa del base de datos de WorldClim 2. Las bases de datos geográficos para el distrito de Tahuania que consisten en Shapefile de los límites del distrito y ríos se descargaron de la plataforma virtual del estado GeoPerú. La obtención de datos de presencia o coordenadas de las especies se obtuvieron en base de datos de la plataforma de GBIF, herbarios virtuales, tesis y artículos científicos.

3.5. PROCEDIMIENTO DE RECOLECCIÓN DE DATOS

3.5.1. BASE DE DATOS DE LAS ESPECIES FORESTALES.

A) Se realizó la búsqueda de información correspondiente, acerca de las tres especies forestales, para posteriormente formar la base de datos de las especies en estudio.

Las plataformas de descarga fueron:

- FieldMuseum (https://www.fieldmuseum.org/)
- GBIF (https://www.gbif.org/)
- Herbario Austral Americano (https://herbariovaa.org/)
- Inaturalist (https://www.inaturalist.org/)
- Natusfera (https://natusfera.gbif.es/)
- Royal Botanic Garden Edinburgh (https://data.rbge.org.uk/search/herbarium/)
- Tropicos (https://www.tropicos.org/)

B) Los variables ambientales se obtuvo de Worldclim 2.1. La plataforma correspondiente nos suministra datos a nivel mundial, en la cual en el formato de cuadrícula genérico nos proporciona variables de temperatura mínima, máxima, media, precipitación y variables bioclimáticas. En el formato de rejillas ESRI, el cual nos ayudó en la conformación de la información bioclimática, variables de temperatura mínima, máxima, media, precipitación, dentro de ello la información varía por minutos y segundo, cada una tiene una resolución espacial y una resolución temporal, con datos desde el año 1970 – 2000, descargamos las variables ambientales de resolución 0.5 minutos (1km^2/pixel), el cual contiene 19 archivos GeoTiff (.tif). Ya descargado los datos de variable climática en formato tiff, lo descomprimimos, el cual nos proporcionó 19 datos (imágenes raster), de datos de temperatura y precipitación, además a ello se agregó capas de modelos digitales de elevación (DEM) e índices de vegetación (NDVI).

C) Obtuvimos la base de datos de límite distrital de Ucayali, para recortar la capa vectorial de la Provincia de Atalaya, y posteriormente recortamos la capa vectorial del Distrito de Tahuanía, área donde elaboramos el modelamiento de las especies forestales.

D) Las capas ambientales se redujeron, con el área de Tahuanía, para reducir y concretizar la base de datos. Las capas ambientales recortadas, se cambió al formato ASC y se re proyectó a WGS84 UTM Zona 18s, para de esta manera emplear correctamente en el Software Maxent.

E) MAXENT (Máxima Entropía)

La configuración del software Maxent, básicamente es primordial hacer ajustes del software con el objetivo de obtener buenos resultados.

Activamos las opciones de:

- Create response curves (✓).
- Make pictures of (✓).
- Dack jackknife to measure variable importance (✓).
- Output directory (carpeta donde vamos a guardar el proyecto).
- Output format (cloglog)
- Output file type (asc)
- Senttings (se deja por defecto)

Envionmental layers: Seleccionamos la carpeta donde guardamos los archivos procesados por el Software Qgis, cargamos en las capas ambientales (Directory/File - “Browse”) / Capas raster (continuous).

Samples: Seleccionamos la carpeta donde guardamos el Excel (csv), de “Puntos de presencia” de cada especie forestal (File - Browse).

Echo los procesos correspondientes, de manera adecuada, corremos (Run) los análisis para ejecutar el proceso de modelado.

3.5.2. ORDENAMIENTO DE DATOS DIGITALES

OCURRENCIA DE LAS ESPECIES

La información de datos georreferenciados se tomó de la base de datos virtuales de las plataformas. Toda la información de registro de las especies se agrupó en Excel en formato .csv, donde cada campo contenía la información UTM (X, Y) y el nombre de la especie, de las cuales, las

coordenadas UTM fue la data más importante. Los puntos con sistemas de coordenadas de referencia fue WGS 84 UTM zona 18s, fueron sometidas a la limpieza en QGIS, eliminando coordenadas que caían fuera del área de estudio y datos duplicados.

Tabla 1.
Número de datos de ocurrencia obtenidas de las diferentes bases de datos y que fue insumo para el proceso de modelado en Maxent

Nombre común	**Nombre Científico**	**N° de ocurrencias**
Cumala blanca	*Virola peruviana (A.DC.) Warb.*	15
Tornillo	*Cedrelinga cateniformis*	18
Requia	*Guarea glabra Vahl*	18

Fuente: Elaboración propia.

- **ESPECIE: Cumala blanca (*Virola peruviana (A.DC.) Warb.*).**

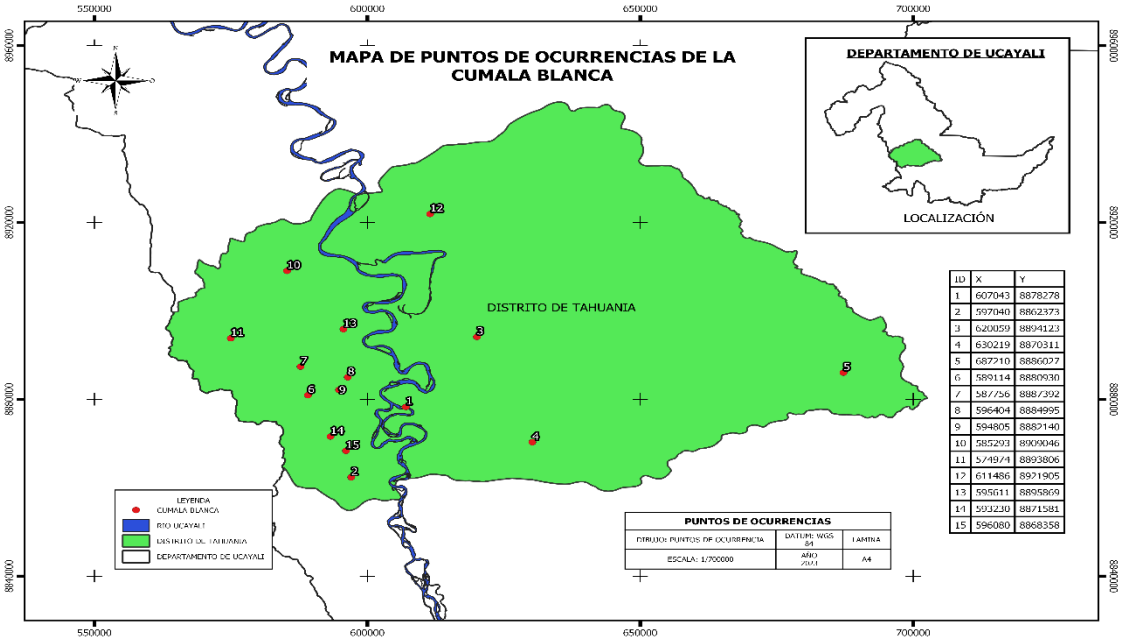
Tabla 2.
Número de datos de ocurrencia obtenidas de la especie Cumala blanca (*Virola peruviana (A.DC.) Warb.*), el cual fue insumo para el proceso de modelado en Maxent 3.4.1.

ID	**X**	**Y**
1	607043	8878278
2	597040	8862373
3	620059	8894123
4	630219	8870311
5	687210	8886027
6	589114	8880930
7	587756	8887392
8	596404	8884995
9	594805	8882140
10	585293	8909046
11	574974	8893806
12	611486	8921905
13	595611	8895869
14	593230	8871581
15	596080	8868358

Fuente: Elaboración propia.

Figura 2.

Mapa de ocurrencia obtenidas de la especie Cumala blanca (*Virola peruviana (A.DC.) Warb.*), el cual fue insumo para el proceso de modelado en Maxent 3.4.1.



ID	X	Y
1	607043	8878278
2	597040	8862373
3	620059	8894123
4	630219	8870311
5	687210	8886027
6	589114	8880930
7	587756	8887392
8	596404	8884995
9	594805	8882140
10	585293	8909046
11	574974	8893806
12	611486	8921905
13	595611	8895869
14	593230	8871581
15	596080	8868358

Fuente: Elaboración propia.

- **ESPECIE: Tornillo (*Cedrelinga cateniformis.*).**

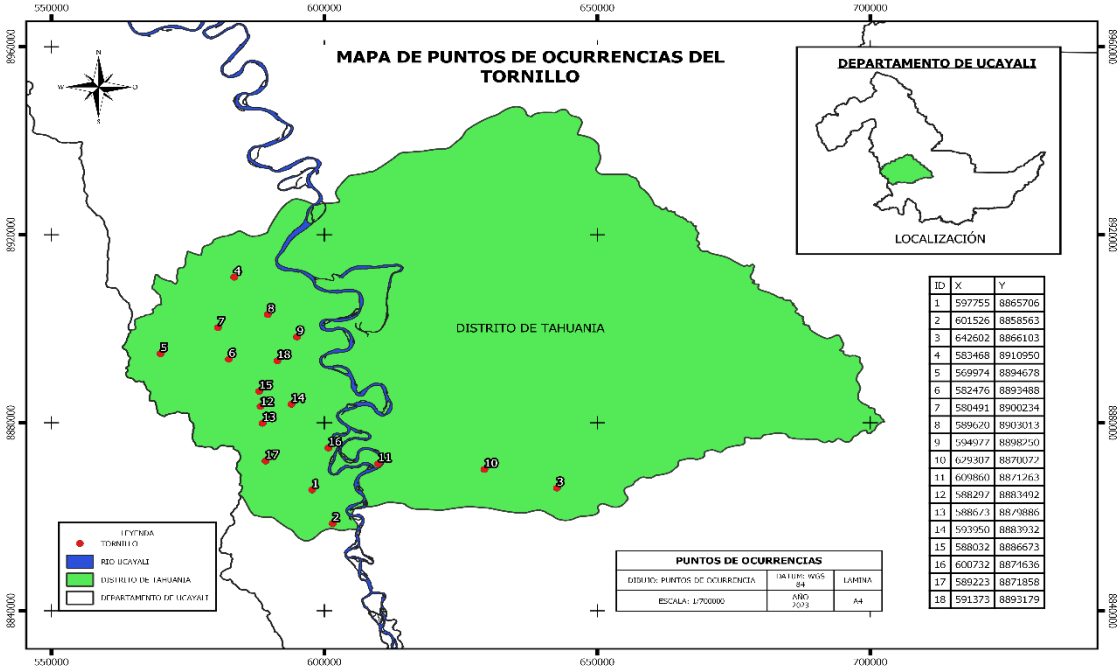
Tabla 3.

Número de datos de ocurrencia obtenidas de la especie Tornillo (*Cedrelinga cateniformis.*), el cual fue insumo para el proceso de modelado en Maxent 3.4.1.

ID	X	Y
1	597755	8865706
2	601526	8858563
3	642602	8866103
4	583468	8910950
5	569974	8894678
6	582476	8893488
7	580491	8900234
8	589620	8903013
9	594977	8898250
10	629307	8870072
11	609860	8871263
12	588297	8883492
13	588673	8879886
14	593950	8883932
15	588032	8886673
16	600732	8874636
17	589223	8871858
18	591373	8893179

Fuente: Elaboración propia.

Figura 3.
Mapa de ocurrencia obtenidas de la especie Tornillo (*Cedrelinga cateniformis.*), el cual fue insumo para el proceso de modelado en Maxent 3.4.1.



Fuente: Elaboración propia.

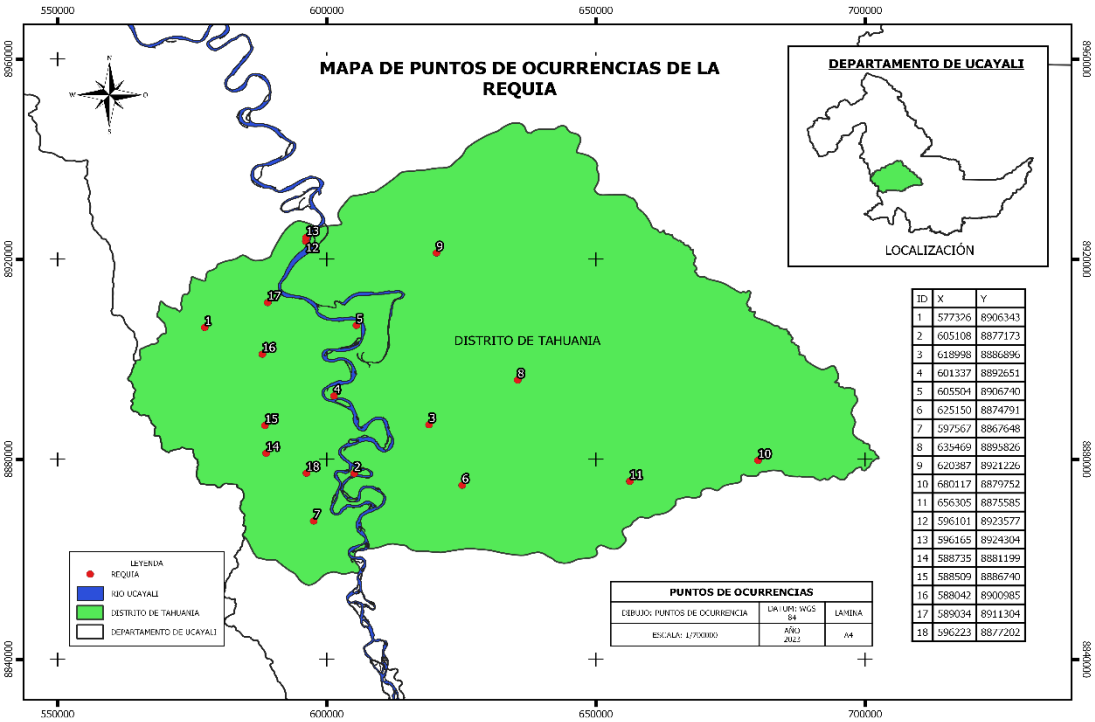
- **ESPECIE: Requia (*Guarea glabra Vahl*).**

Tabla 4.
Número de datos de ocurrencia obtenidas de la especie Requia (*Guarea glabra Vahl.*), el cual fue insumo para el proceso de modelado en Maxent 3.4.1.

ID	X	Y
1	577326	8906343
2	605108	8877173
3	618998	8886896
4	601337	8892651
5	605504	8906740
6	625150	8874791
7	597567	8867648
8	635469	8895826
9	620387	8921226
10	680117	8879752
11	656305	8875585
12	596101	8923577
13	596165	8924304
14	588735	8881199
15	588509	8886740
16	588042	8900985
17	589034	8911304
18	596223	8877202

Fuente: Elaboración propia.

Figura 4.
Mapa de ocurrencia obtenidas de la especie Requia (*Guarea glabra Vahl.*), el cual fue insumo para el proceso de modelado en Maxent 3.4.1.



Fuente: Elaboración propia.

LAS VARIABLES AMBIENTALES DE LA PLATAFORMA WORLDCLIM

Los datos ambientales consistían en raster de NDVI que se obtuvo mediante la combinación de las imágenes de Sentinel 2, Los datos topográficos se obtuvieron del modelo de elevación digital (DEM). Toda la información de la Tabla 2, se sistematizó en R, en donde se llevó a la resolución espacial de 10 metros a todas las capas raster, así como también se reproyecto al sistema de referencia WGS84 UTM zona 18s, con la finalidad de manejar un solo sistema de referencia al igual que los puntos o coordenadas de las especies.

Tabla 5.
Variables climáticas, topográficas y NDVI

Campas de entrada	**Descripciones**	**Unidad**	**Resolución espacial**	
			Inicial	Final
BIO1	Temperatura Media Anual	°Cx10	1 x 1km	10 x 10 m
BIO2	Intervalo medio diurno (media mensual (temperatura máxima - temperatura mínima))	°Cx10	1 x 1km	10 x 10 m
BIO3	Isotermalidad (BIO2/BIO7) (×100)		1 x 1km	10 x 10 m
BIO4	Estacionalidad de la temperatura (desviación estándar ×100)		1 x 1km	10 x 10 m
BIO5	Temperatura máxima del mes más cálido	°Cx10	1 x 1km	10 x 10 m
BIO6	Temperatura mínima del mes más frío	°Cx10	1 x 1km	10 x 10 m
BIO7	Rango Anual de Temperatura (BIO5-BIO6)	°Cx10	1 x 1km	10 x 10 m
BIO8	Temperatura media del trimestre más húmedo	°Cx10	1 x 1km	10 x 10 m
BIO9	Temperatura Media del Cuarto Más Seco	°Cx10	1 x 1km	10 x 10 m
BIO10	Temperatura media del trimestre más cálido	°Cx10	1 x 1km	10 x 10 m
BIO11	Temperatura media del trimestre más frío	°Cx10	1 x 1km	10 x 10 m
BIO12	Precipitación Anual	mm	1 x 1km	10 x 10 m
BIO13	Precipitación del mes más lluvioso	mm	1 x 1km	10 x 10 m
BIO14	Precipitación del mes más seco	mm	1 x 1km	10 x 10 m
BIO15	Estacionalidad de la Precipitación (Coeficiente de Variación)	mm	1 x 1km	10 x 10 m
BIO16	Precipitación del trimestre más húmedo	mm	1 x 1km	10 x 10 m
BIO17	Precipitación del Trimestre Más Seco	mm	1 x 1km	10 x 10 m
BIO18	Precipitación del trimestre más cálido	mm	1 x 1km	10 x 10 m
BIO19	Precipitación del trimestre más frío	mm	1 x 1km	10 x 10 m
DEM	Modelo digital de elevación	msnm	30 x 30 m	10 x 10 m
NDVI	Índice de vegetación normalizada		10 x 10 m	10 x 10 m

3.6. TRATAMIENTO DE DATOS

a) Modelo y modelado de distribución de las especies

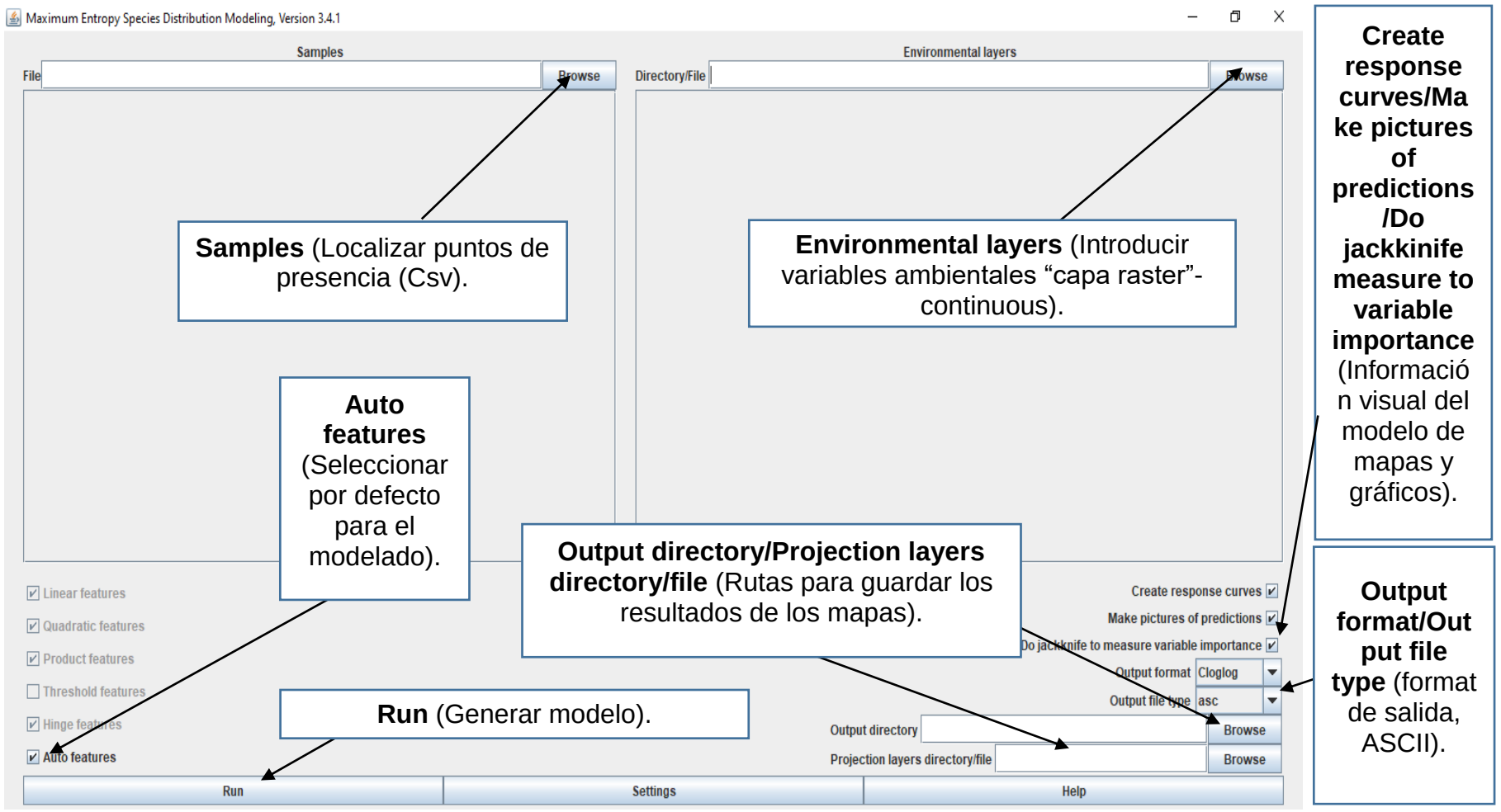
El modelo que se utilizó fue la máxima entropía, debido a que es uno de los algoritmos más utilizados para el modelado de distribución de las especies y se ha demostrado que generalmente funciona bien, o mejor que muchos otros modelos de distribución de especies con datos de solo presencia de la especie (Elith *et al.*, 2006, 2011). El modelamiento de distribución se desarrolló dentro del entorno de Maxent, con todas las configuraciones antes mencionadas.

b) Presencia y ausencia de la especie

Para comparar aún más los modelos de distribución de la especie, específicamente en términos de área de hábitats adecuados para cada especie, se convirtió los mapas de idoneidad continuos en hábitats a capas raster de presencia/ausencia, utilizando el 10° percentil de presencia de entrenamiento (10 percentile training presence) del modelo de máxima entropía (Monteiro Lima, 2012), y finalmente se cuantificaron las áreas.

Figura 5.

Partes del interfaz del software Maxent



CAPITULO IV.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. RESULTADOS

4.1.1. MODELAMIENTO DE LAS TRES ESPECIES FORESTALES SEGÚN LOS DATOS BIOCLIMÁTICOS

Tabla 6.

Porcentaje de contribución de las capas climáticas en el proceso de modelado en Maxent

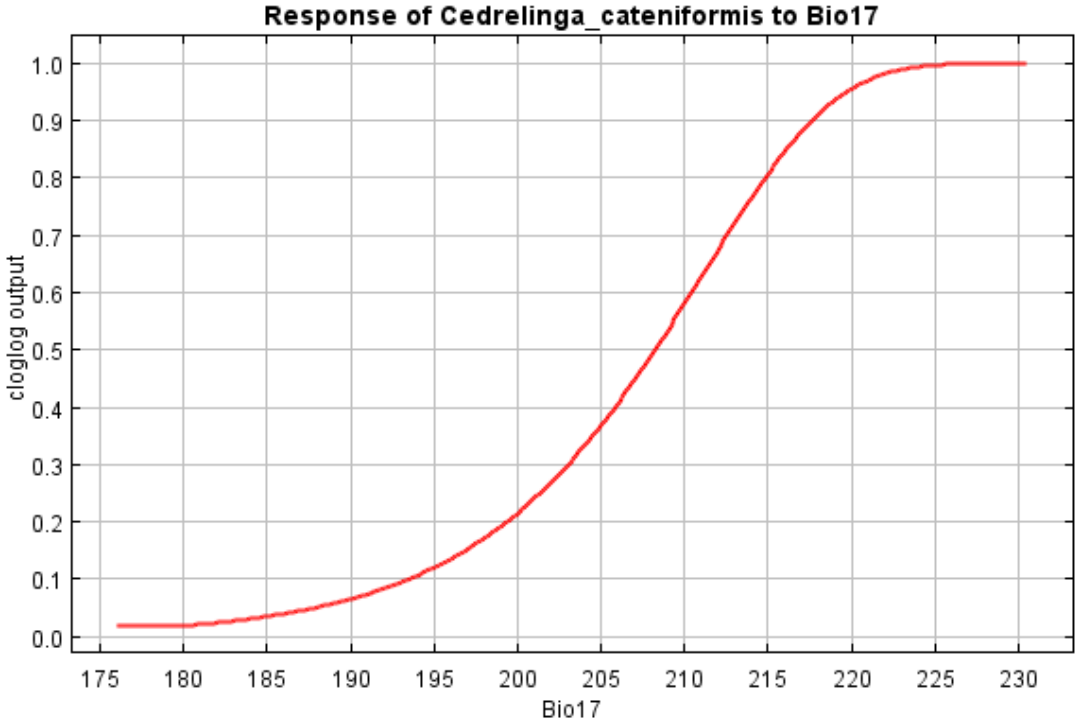
Variable	Descripción	Porcentaje de contribución (%)		
		Cedrelinga cateniformis	*Guarea glabra Vahl*	*Virola peruviana (A.DC.) Warb.*
Bio10	Temperatura media del trimestre más cálido.	0	27	0
Bio16	Precipitación del trimestre más húmedo.	8.5	0	0
Bio17	Precipitación del Trimestre Más Seco.	77.6	22.6	78.9
Bio19	Precipitación del trimestre más frío.	0.3	2.4	0
DEM	Modelo digital de elevación.	1.9	1.2	11.8
NDVI	Índice de vegetación normalizada.	2.9	31.4	0.1

Fuente: Elaboración propia.

De acuerdo a la Tabla 3, las capas climáticas Precipitación del Trimestre Más Seco (Bio 17) y Precipitación del trimestre más húmedo (Bio 16), son las que contribuyeron en mayor porcentaje en el proceso de modelado con 77.6% y 8.5% respectivamente de *Cedrelinga cateniformis*, en caso de *Guarea glabra Vahl.* Las capas climáticas con una mayor contribución fueron el Índice de

vegetación normalizada (NDVI) y Temperatura media del trimestre más cálido (Bio 10) con 31.4% y 27% respectivamente y finalmente el Precipitación del Trimestre Más Seco (Bio 17) y Modelo Digital de Elevación (DEM) son las capas con mayor porcentaje de contribución con 78.9% y 11.8% respetivamente, en el proceso de modelado de *Virola peruviana (A.DC.) Warb.*

Figura 6.
Curva de respuesta de Precipitación del Trimestre Más Seco (Bio 17) en el modelado de distribución de *Cedrelinga cateniformis* (Tornillo).



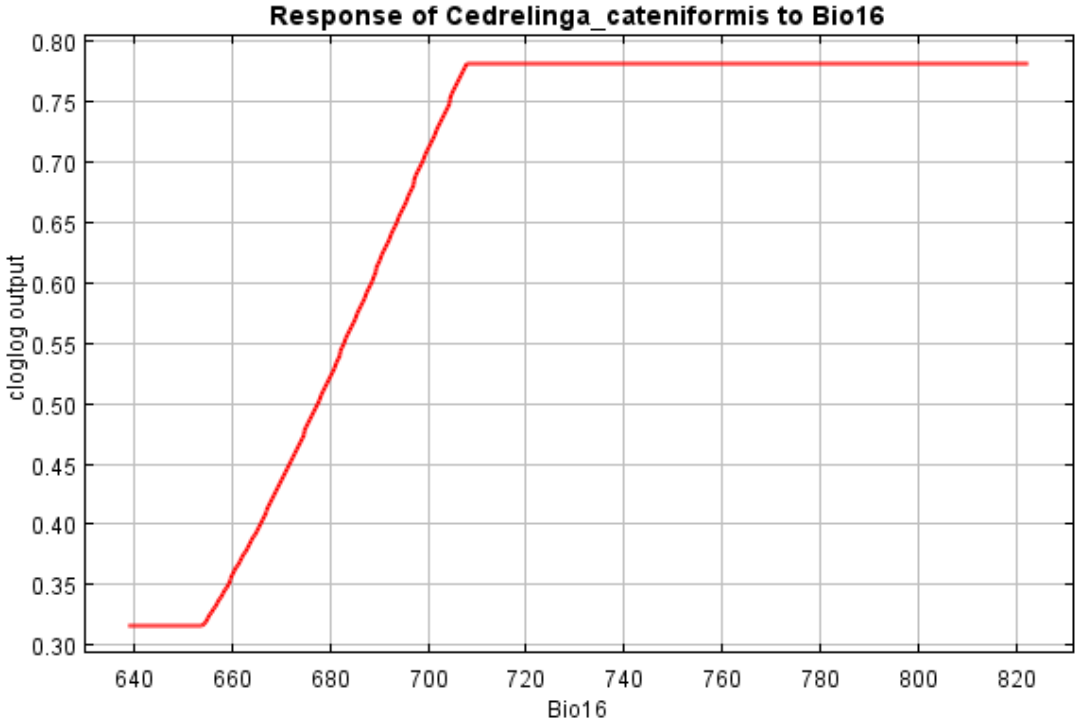
Fuente: Elaboración propia, resultado del modelamiento en el Maxent 3.4.1

La precipitación del trimestre más seco, que representa a los meses de julio, agosto y setiembre, tuvo una mayor contribución en el proceso de modelado en Maxent con 77.6%, dicha capa climática, juega un papel importante en el establecimiento de la especie tornillo, en donde valores superiores a 220 mm de precipitación anual son adecuadas para el establecimiento de plántulas, debido a que esta especie está presente en zonas húmedas en bosques de llanura, suele habitar naturalmente en lugares húmedos y pantanosos, mientras

que, en los bosques altos de tierra firme prefiere las nacientes y cursos superiores de los ríos, en suelos arcillosos y húmedos (Monteverde-Calderón, 2021), que de acuerdo a la Fig. 3. Los valores menores a 220 mm de precipitación anual son inadecuados para la presencia de la especie.

Figura 7.

Curva de respuesta de Precipitación del trimestre más húmedo (Bio 16) en el modelado de distribución de *Cedrelinga cateniformis* (Tornillo)

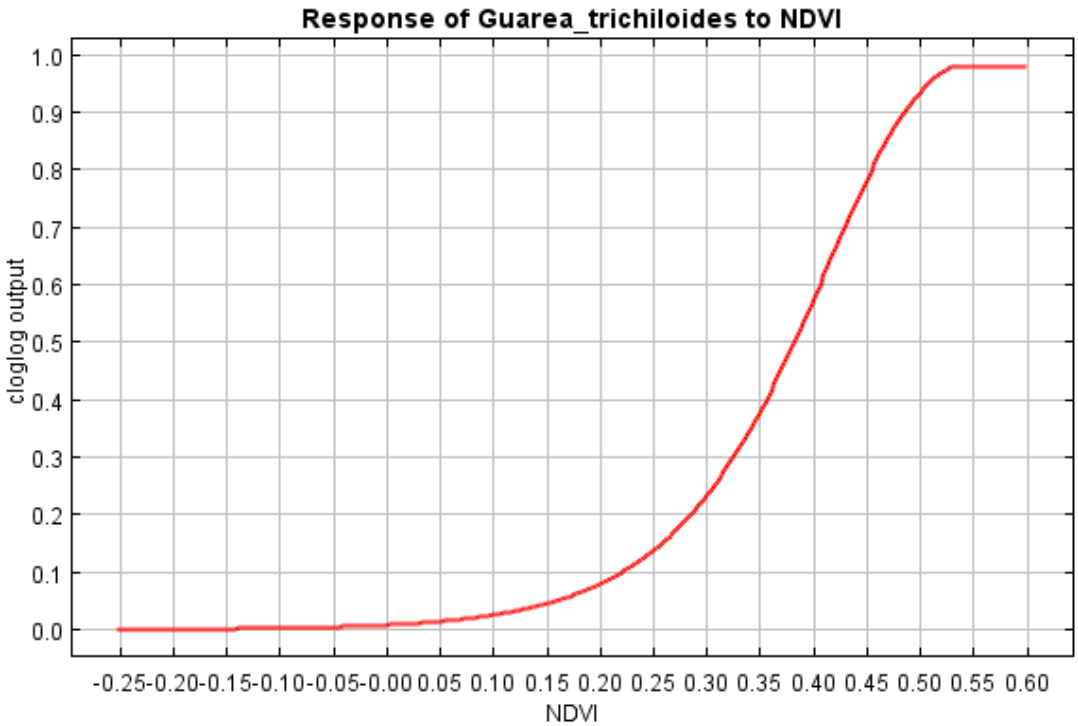


Fuente: Elaboración propia, resultado del modelamiento en el Maxent 3.4.1

De acuerdo a la Fig. 4. La Precipitación del trimestre más húmedo, que representa la los meses de enero, febrero y marzo, fue la segunda capa con mayor contribución en el proceso de modelado en Maxent con 8.5%, donde la capa climática representa épocas con abundante lluvia, que son adecuadas y favorables para el establecimiento de la regeneración natural de los Tornillales (Paucar Cardenas, 2011).

Figura 8.

Curva de respuesta de Índice de vegetación normalizada (NDVI) en el modelado de distribución de *Guarea glabra Vahl* (Requia).



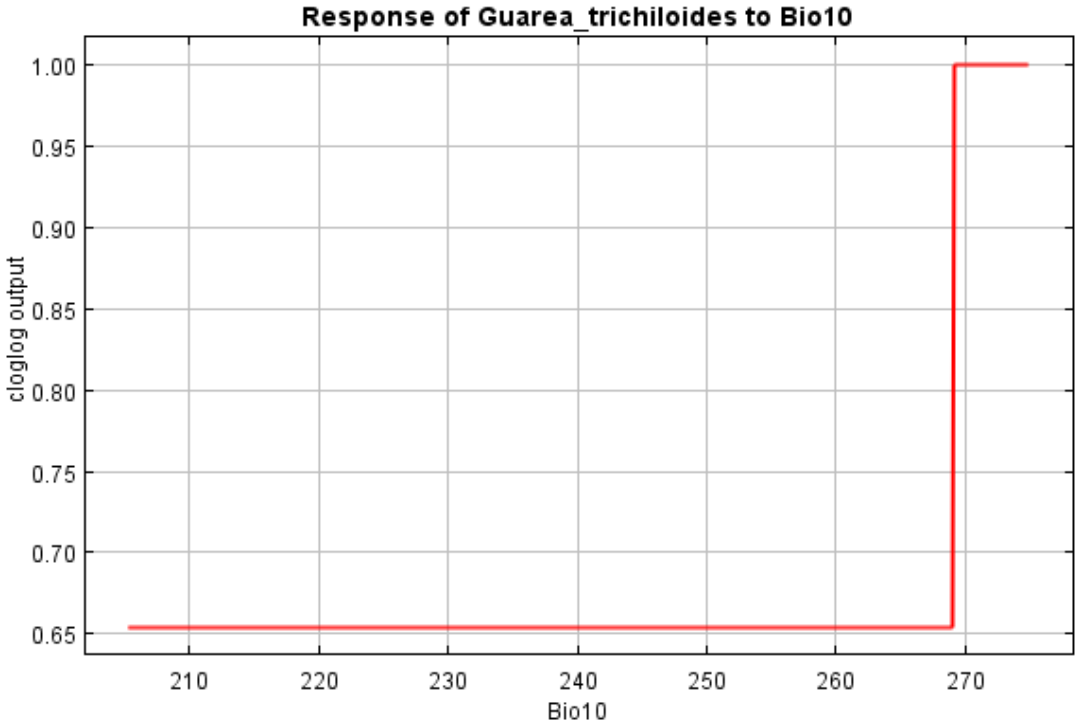
Fuente: Elaboración propia, resultado del modelamiento en el Maxent 3.4.1

De acuerdo a la Figura 5, el NDVI demostró ser una variable importante, dando a conocer proporciona información sobre los cambios temporales y espaciales en la distribución, productividad y dinámica de la vegetación (Pettorelli et al., 2005). Además de las clases simples de cobertura terrestre, el NDVI proporciona información indirecta sobre las características del hábitat más allá de las condiciones topográficas y climáticas (Parviainen et al., 2013). Por lo tanto, el NDVI se considera como un indicador de la configuración base de la vegetación que refleja la historia del clima y el efecto de las perturbaciones físicas (Randin et al., 2020). Por lo tanto, NDVI con una contribución de 31.4% en el proceso de modelado, puede incluir información

sobre impactos humanos (principalmente el uso de la tierra) y otras interacciones bióticas (p. ej., pastoreo o enfermedades) de Requia.

Figura 9.

Curva de respuesta de Temperatura media del trimestre más cálido (Bio 10) en el modelado de distribución de *Guarea glabra Vahl* (Requia).

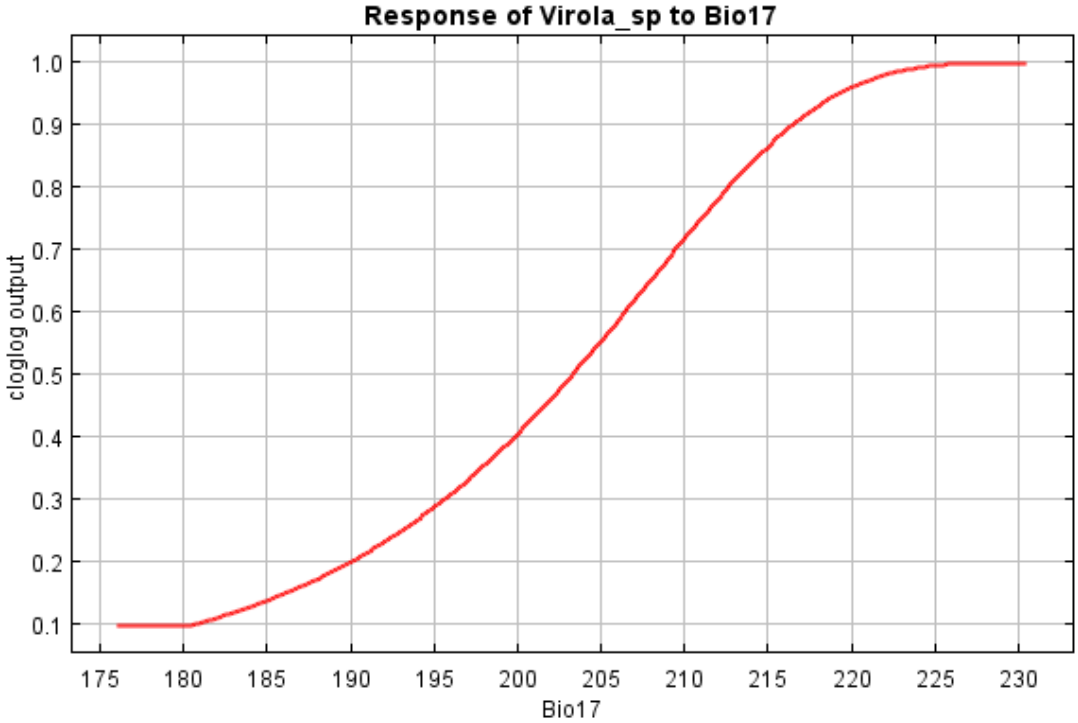


Fuente: Elaboración propia, resultado del modelamiento en el Maxent 3.4.1

De acuerdo a la Fig. 6, la temperatura media del trimestre más cálido, que representa la T° media de los meses de enero, febrero y marzo, fue la segunda capa con mayor contribución en el proceso de modelado de Requia con 27%. Dicha capa climática, influye en el establecimiento de la mayoría de las plántulas en la Amazonía, así también al ser las semillas con embriones pequeños generalmente, son esporádicos y necesita extensos período tiempo y condiciones ambientales homogéneas para el creciente del embrión antes de la germinación (Lima et al., 2018; Vandelook et al., 2012). Que según la Fig. 6. Los ambientes favorables para las poblaciones de Requia son temperaturas superiores a los 27 °C.

Figura 10.

Curva de respuesta de precipitación del trimestre más seco (Bio 17) en el modelado de distribución de *Virola peruviana (A.DC.) Warb* (Cumala blanca)

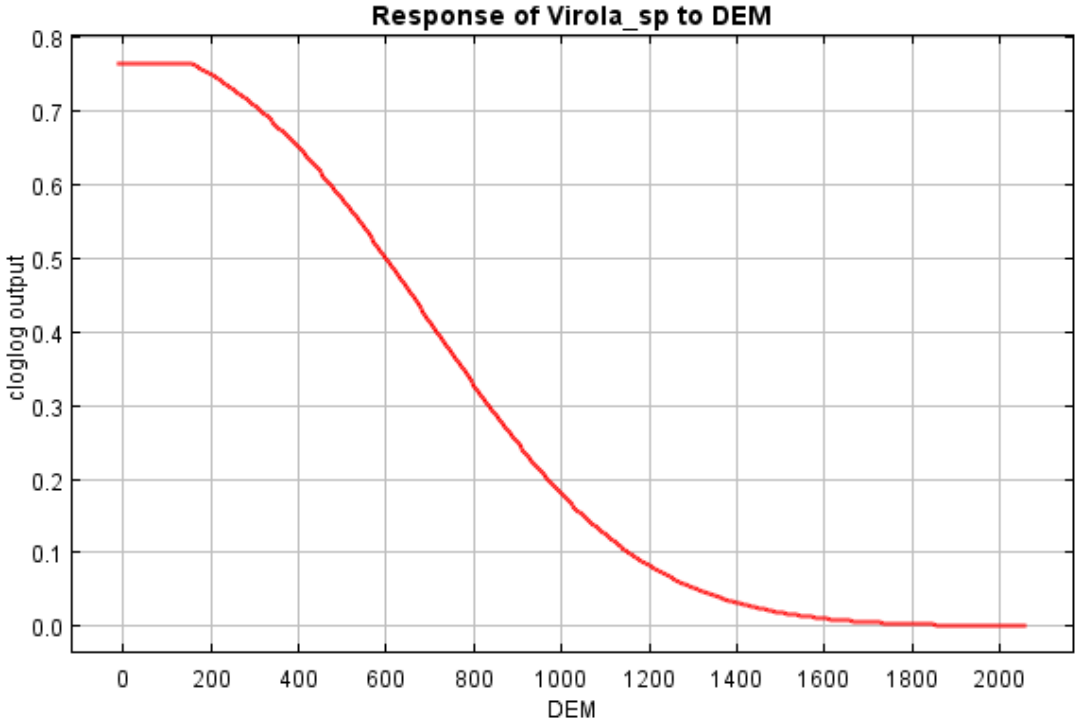


Fuente: Elaboración propia, resultado del modelamiento en el Maxent 3.4.1

De acuerdo a la Fig. 7, la precipitación del trimestre más seco, que representa a los meses de julio, agosto y setiembre, que tuvo una contribución de 78.9% en proceso de modelado de Cumala blanca, da a conocer que, soporta una mínima de 220 mm, que muy inferiores a este valor afectaría la normal funcionalidad de la especies, que generalmente podría influir mucho más en la regeneración natural y en el establecimiento de las plántulas (Qie et al., 2019; Redmond et al., 2018), que requieren condiciones homogéneas tanto de temperatura y humedad del suelo (Vandelook et al., 2012).

Figura 11.

Curva de respuesta de Modelo Digital de Elevación (DEM) en el modelado de distribución de *Virola peruviana (A.DC.) Warb* (Cumala blanca)



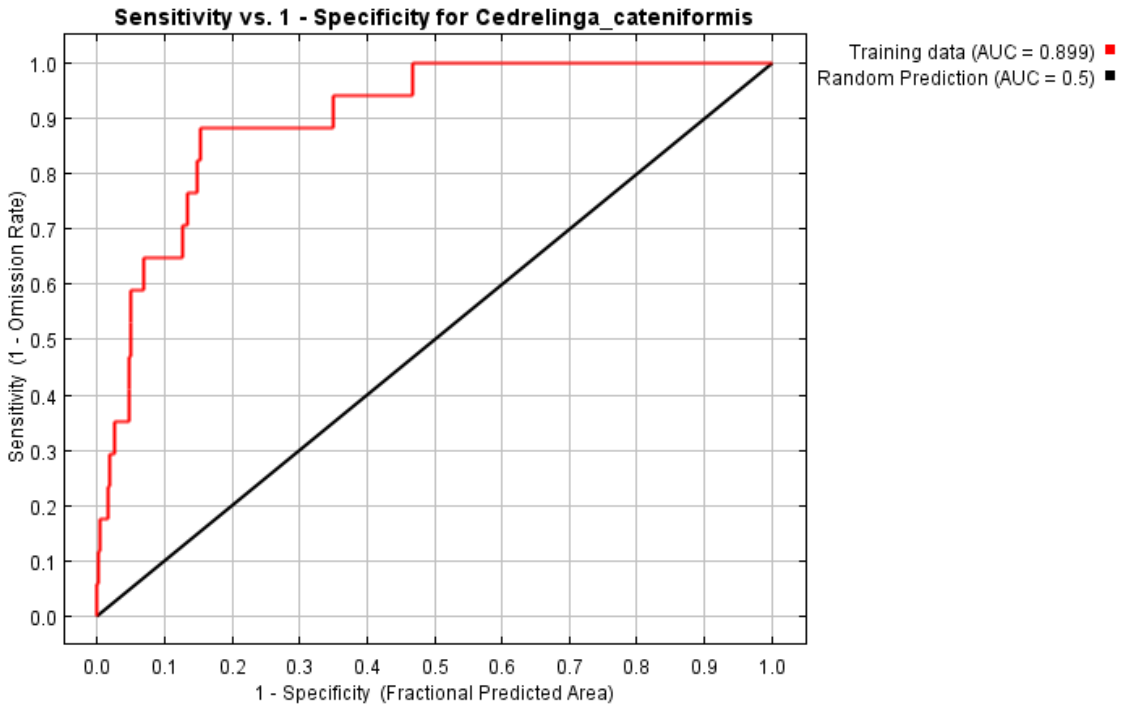
Fuente: Elaboración propia, resultado del modelamiento en el Maxent 3.4.1

De acuerdo a la Fig. 8, el Modelo Digital de Elevación con 11.8% de contribución, que representa la altitud en m.s.n.m. se observa que la especie de Cumala blanca, tiene una distribución potencial por debajo de los 200 msnm en Tahuania, zonas adecuadas para las poblaciones de esta especie que prefiere ámbitos con pluviosidad elevada (OSINFOR, 2015) . Las elevaciones o altitudes cumplen un papel muy importante en la distribución de las especies, debido a que a las especies habitan zonas más homogéneas en temperatura y humedad que están limitadas por altitudes (Murga-Orrillo et al., 2021), en este caso la especie de Cumala blanca, está presente a la orilla o cercanas a los grandes ríos amazónicos.

4.1.2. LAS CURVAS ROC (RECEIVER OPERANTING CHARACTERISTIC) DE LAS 3 ESPECIES FORESTALES

Figura 12.

Curva ROC y valor AUC en el proceso de modelado en Maxent para la especie de *Cedrelinga cateniformis* (Tornillo)

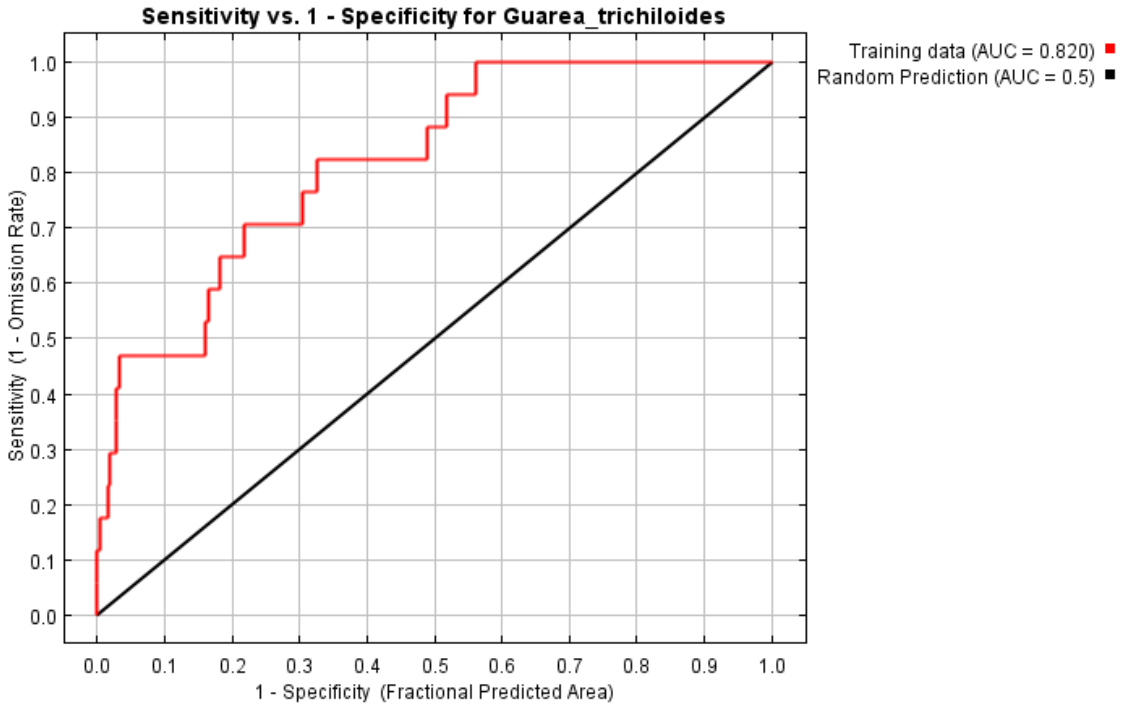


Fuente: Elaboración propia, resultado del modelamiento en el Maxent 3.4.1

De acuerdo a la Figura 9, los resultados muestran que la curva ROC en el proceso de modelado de distribución potencial *Cedrelinga cateniformis* (Tornillo) tuvo un AUC de 0.899, superiores a 0.5, lo que indica una predicción confiable del modelo (Cotrina Sánchez et al., 2021; Phillips et al., 2009). En donde el comportamiento de los datos de presencia con las capas bioclimáticas fueron mejor que la selección al azar (línea negra), lo que nos da a conocer que el proceso de modelo en Maxent tuvo un buen rendimiento, superior a 0.8 al igual que obtuvo Gebrewahid et al., (2020) y los resultados del modelado son confiables (Yan et al., 2017).

Figura 13.

Curva ROC y valor AUC en el proceso modelado en Maxent para la especie de *Guarea glabra Vahl* (Requia).

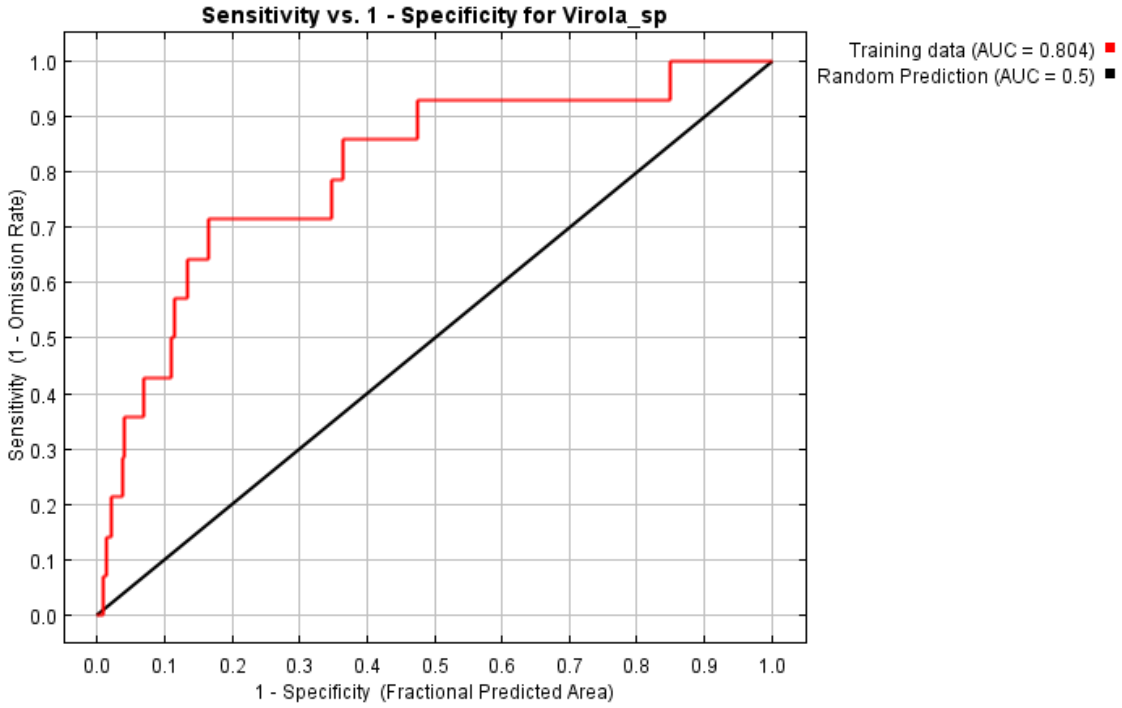


Fuente: Elaboración propia, resultado del modelamiento en el Maxent 3.4.1

De acuerdo a la Figura 10, los resultados muestran que la curva ROC en el proceso de modelado de distribución potencial *Guarea glabra Vahl* (Requia) tuvo un AUC de 0.820, superiores a 0.5, lo que indica una predicción confiable del modelo (Cotrina Sánchez et al., 2021; Phillips et al., 2009). En donde el comportamiento de los datos de presencia con las capas bioclimáticas fueron mejor que la selección al azar (línea negra), lo que nos da a conocer que el proceso de modelo en Maxent tuvo un buen rendimiento, superior a 0.8 al igual que obtuvo Gebrewahid et al., (2020) y los resultados del modelado son confiables (Yan et al., 2017).

Figura 14.

Curva ROC y valor AUC en el proceso de modelado en Maxent para la especie de *Virola peruviana (A.DC.) Warb* (Cumala blanca)



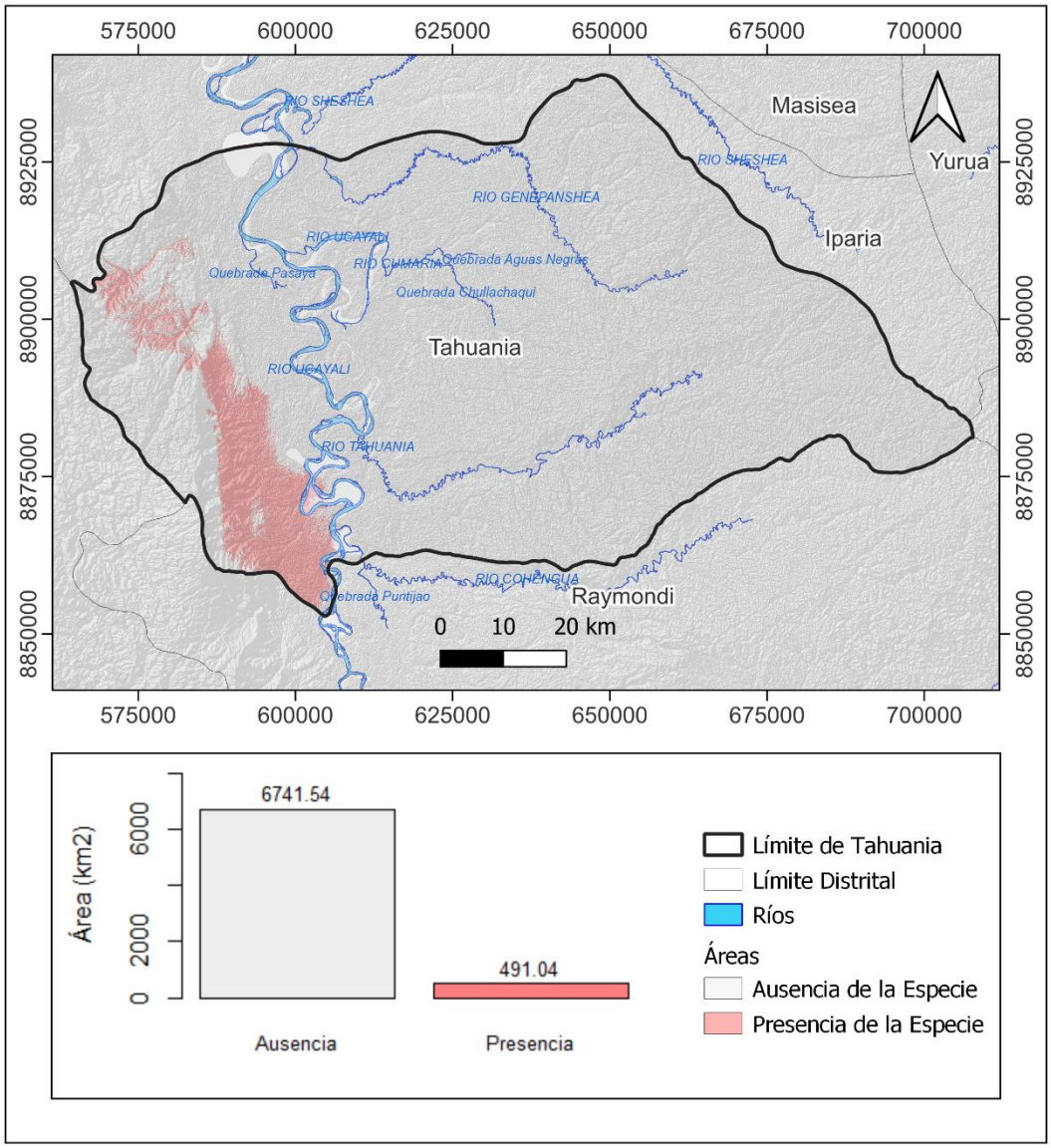
Fuente: Elaboración propia, resultado del modelamiento en el Maxent 3.4.1

De acuerdo a la Figura 11, los resultados muestran que la curva ROC en el proceso de modelado de distribución potencial *Virola peruviana (A.DC.)* (Cumala blanca) tuvo un AUC de 0.804, superiores a 0.5, lo que indica una predicción confiable del modelo (Cotrina Sánchez et al., 2021; Phillips et al., 2009). En donde el comportamiento de los datos de presencia con las capas bioclimáticas fueron mejor que la selección al azar (línea negra), lo que nos da a conocer que el proceso de modelo en Maxent tuvo un buen rendimiento, superior a 0.8 al igual que obtuvo Gebrewahid et al., (2020) y los resultados del modelado son confiables (Yan et al., 2017).

4.1.3. MAPAS DE DISTRIBUCIÓN GEOGRÁFICA DE TRES ESPECIES FORESTALES

Figura 15.

Mapa de distribución potencial y áreas de presencia de *Cedrelinga cateniformis* (Tornillo) en el distrito de Tahuania, Ucayali



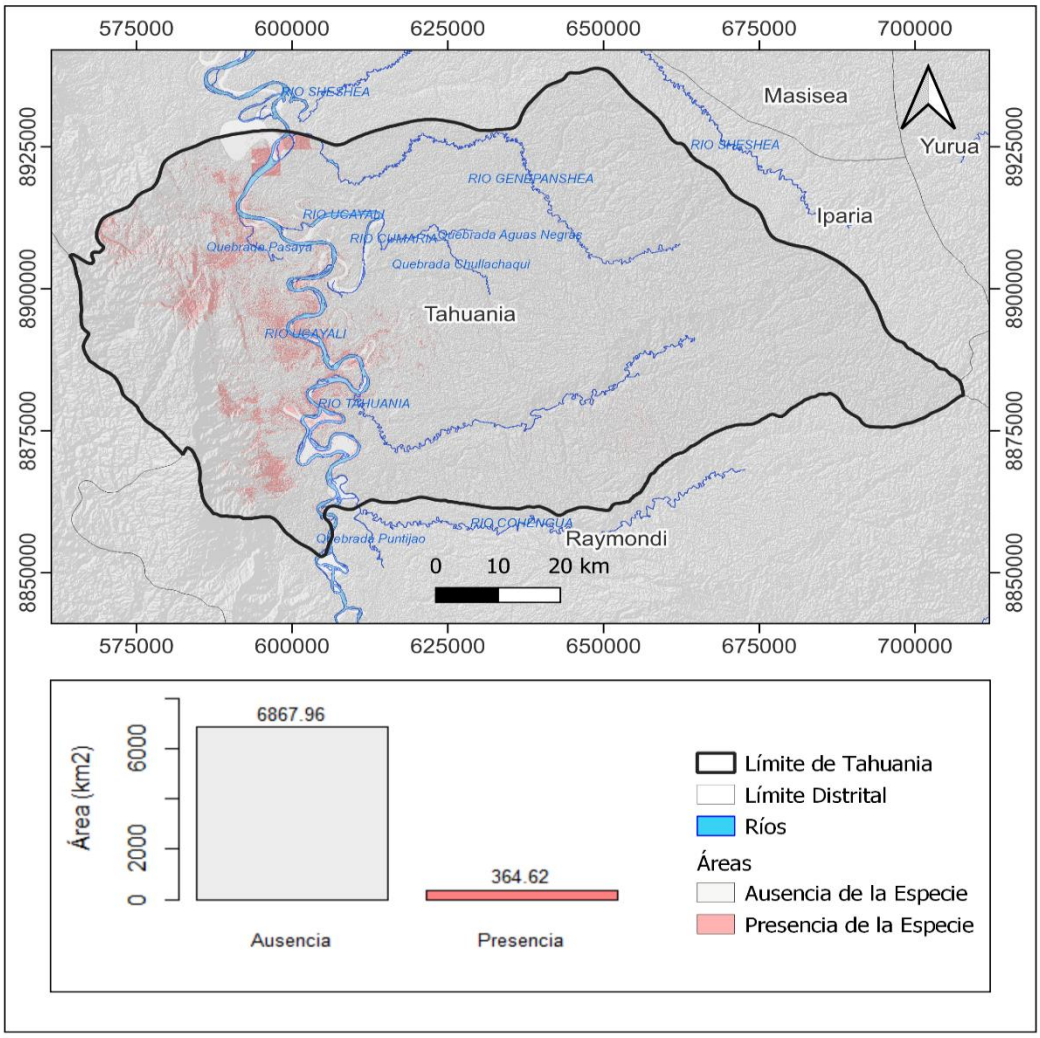
Fuente: Elaboración propia, resultado del modelamiento en el Maxent 3.4.1

De acuerdo a la Fig. 12, de las áreas de distribuciones potenciales de *Cedrelinga cateniformis*, nos dan una referencia de cómo está distribuida la especie de acuerdo a las capas raster bioclimáticas, topográficas y NDVI en Tahuania.

Las áreas de presencia potencial de *C. cateniformes*, cubre una superficie de 491.04 km^2 (6.79 %) del distrito de Tahuania, ubicados generalmente al lado oeste del distrito, estas áreas del resultado del modelamiento son apropiados para realizar censos para el aprovechamiento o conservación de la especie, además son áreas apropiadas para hacer proyectos de reforestación, plantación y restauración (Shankhwar et al., 2019; Tesfamariam et al., 2022) de bosques amazónicos con especies en peligro como el Tornillo.

Figura 16.

Mapa de distribución potencial y áreas de presencia de *Guarea glabra Vahl* (Requia) en el distrito de Tahuania, Ucayali

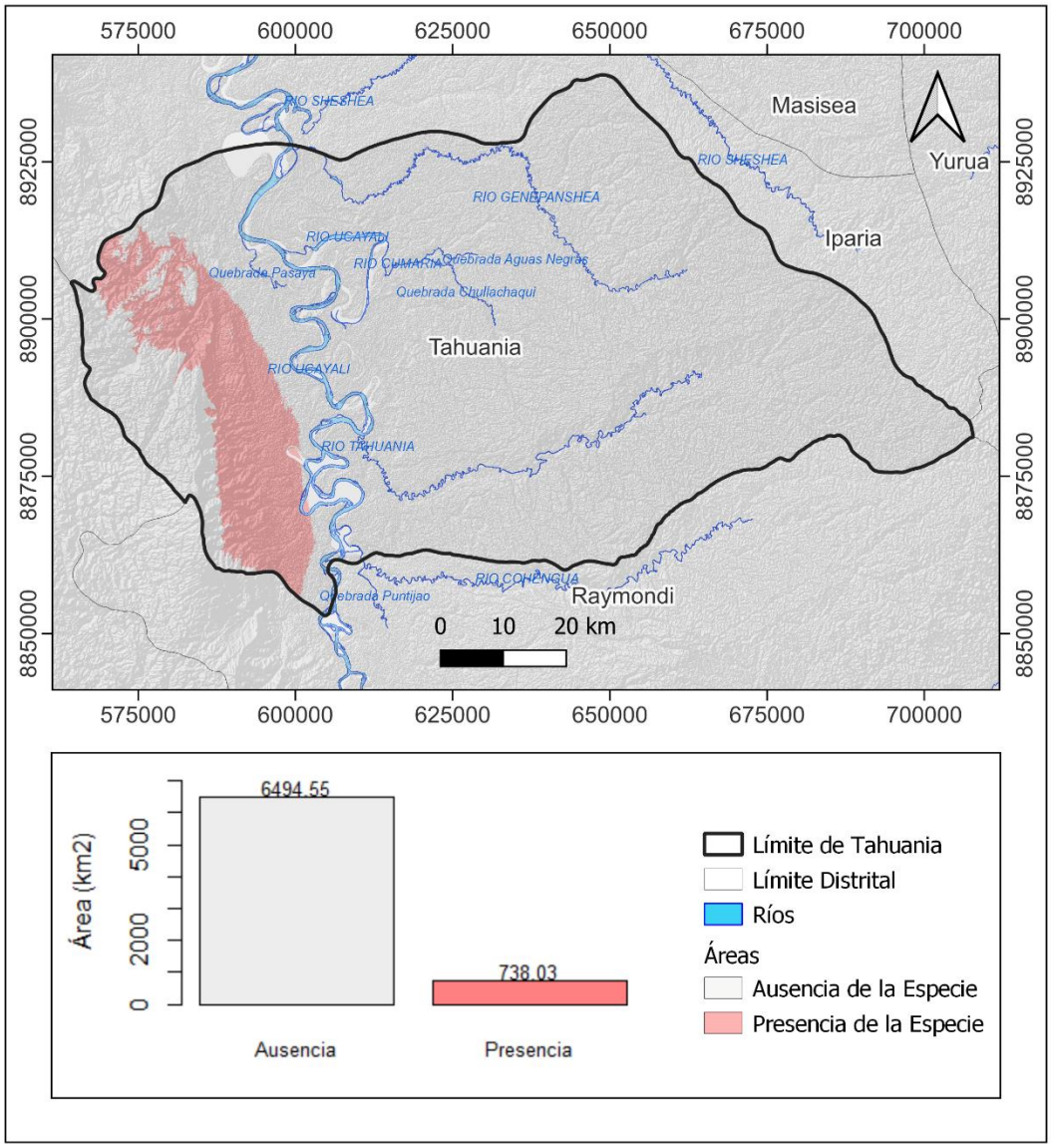


Fuente: Elaboración propia, resultado del modelamiento en el Maxent 3.4.1

Guarea glabra Vahl (Requia), una especie que prefiere hábitats de áreas más planas, poca pendiente, zonas con poca intervención humana, también se podría limitar la especie hacia las zonas con pendientes un poco pronunciadas (Barrios Romero, 2016). En este estudio se identificó a las áreas potenciales de distribución (color rojo, ver Fig. 13) que cubre los 364.62 km^2 (5.04%) de superficie del distrito de Tahuania, distribuidos a ambos márgenes del rio Ucayali (Figura 13). Estas áreas son apropiadas para generar proyectos de aprovechamiento de madera, por su alto valor económico, además dado la gran importancia medicinal del género Guarea que son uno de los géneros más grandes de la familia americana Meliaceae, que consta de más de 69 especies que se distribuyen ampliamente en México, Argentina y África y se utilizan en la medicina tradicional para varias enfermedades (Bellone et al., 2021; Supratman et al., 2022). Estudios previos reportaron que las especies de Guarea producen metabolitos secundarios como compuestos sesquiterpenoides, diterpenoides, triterpenoides, limonoides, esteroides y aromáticos. Por su parte, el sesquiterpenoide es un compuesto significativo con un 52% de especies de Guarea (Supratman et al., 2022). Estas propiedades no maderables de este género, podría llevar a un mejor aprovechamiento de esta especie en el distrito de Tahuania.

Figura 17.

Mapa de distribución potencial y áreas de presencia de *Virola peruviana (A.DC.)* (Cumala blanca) en el distrito de Tahuania, Ucayali



Fuente: Elaboración propia, resultado del modelamiento en el Maxent 3.4.1

De acuerdo a la figura 14, las áreas potenciales para *Virola peruviana (A.DC.)* (Cumala blanca) cubre una superficie de 738.03 km^2 (10.2 %) con áreas potenciales para el aprovechamiento maderable de Cumala blanca, estas áreas se distribuyen al oeste del distrito, en ambos márgenes del rio Ucayali.

4.2. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Los resultados del proceso de modelado, muestran que las capas bioclimáticas obtenidas de la especie Cedrelinga cateniformis (Tornillo) presenta una mayor contribución de la precipitación del trimestre más seco (Bio 17) con un 77.6%, seguido de la precipitación del trimestre más húmedo (Bio 16) con un 8.5%; la especie Guarea glabra Vahl (Requia) presenta una mayor contribución del índice de vegetación normalizada (NDVI) con un 31.4%, seguido de la temperatura media del trimestre más cálido (Bio 10) con un 27%; y la especie Virola peruviana (A.DC.) Warb (Cumala) presenta una mayor contribución de la precipitación del trimestre más seco (Bio 17) con un 78.9%, seguido del modelo digital de elevación (DEM) con un 11.8%.

Respectivamente los resultados del ROC (RECEIVER OPERANTING CHARACTERISTIC) muestran que de la especie Cedrelinga cateniformis (Tornillo) se obtuvo un AUC 0.899; de la especie Guarea glabra Vahl (Requia) se obtuvo un AUC 0.820; y de la especie Virola peruviana (A.DC.) Warb (Cumala) se obtuvo AUC 0.804.

Lo que nos da a conocer que el proceso de modelo en Maxent tuvo un buen rendimiento, superior a 0.8 al que obtuvo Gebrewahid et al., (2020) y los resultados del modelado son confiables (Yan et al., 2017).

CAPITULO V.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. CONCLUSIONES

- Se ha logrado determinar el modelamiento de las tres especies forestales, y obtener su distribución geográfica, en la cual la especie Tornillo (*Cedrelinga cateniformis*), tiene una distribución potencial de 491.04 km^2 (6.79 %) con presencia al lado oeste del distrito; la especie Requia (*Guarea glabra Vahl*), tiene una distribución potencial de 364.62 km^2 (5.04%) con presencia por ambos márgenes del rio Ucayali, pertenecientes al distrito; y la especie Cumala blanca (*Virola peruviana (A.DC.)*, tiene una distribución potencial de 738.03 km^2 (10.2 %) con presencia al lado oeste del distrito, gracias a la aplicación del software Maxent 3.4.1, en el distrito de Tahuania, provincia de Atalaya, región Ucayali.
- El modelo de Maxent, da a conocer que las capas climáticas Precipitación del trimestre más seco y Precipitación del trimestre más húmedo, tuvo una contribución de 77.6% y 8.5% respectivamente de en el modelamiento de *Cedrelinga cateniformis* (Tornillo), en caso de *Guarea glabra Vahl* (Requia) las capas climáticas con una mayor contribuciones fueron Índice de vegetación normalizada (NDVI) y Temperatura media del trimestre más cálido con 31.4% y 27% respectivamente y finalmente el Precipitación del trimestre más seco y Modelo Digital de Elevación (DEM) son las capas con mayor porcentaje de contribución con 78.9% y 11.8% respetivamente, en el proceso de modelado de *Virola peruviana (A.DC.)* (Cumala blanca).

- El ROC (Característica operativa del receptor), tuvieron valores de AUC de 0.899, 0.820 y 0.804, para las especies *Cedrelinga cateniformis*, *Guarea glabra Vahl* y *Virola peruviana (A.DC.)* respectivamente, superiores a 0.5, lo que indica una predicción confiable del modelo para todas las especies.
- Los mapas de distribución geográfica de tres especies forestales nos proporcionan áreas de 491.04, 364.62 y 738.03 km^2 para las especies *Cedrelinga cateniformis*, *Guarea glabra Vahl* y *Virola peruviana (A.DC.)* respectivamente, que representan a las presencias de las especies, que dichas áreas son apropiadas para tomar decisiones de conservación o aprovechamiento sostenible.

5.2. RECOMENDACIONES

- A escala pequeña no es recomendable utilizar las capas climáticas debido a que el área de estudio presenta condiciones ambientales similares.
- Para el proceso de modelado se recomienda tomar el mayor número de datos de ocurrencia de las bases de datos y/o censos forestales.
- Los resultados del modelamiento deben de tomarse con cautela, ya que hay errores no sólo de georreferenciación sino también a que las capas raster, debido a que en la resolución espacial de 10 x 10 metros hay espacios de micro habitad que no son percibidos a la resolución mencionada.
- En los procesos de los modelados no se tomó en cuenta los factores antrópicos, debido a la falta de datos de lugares en donde el hombre podría perjudicar a la especie por desbosque tanto para actividades agrícolas y por aprovechamiento.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

Arce Rojas, R. (2022). El enfoque del desarrollo forestal en el Perú . *Revista Forestal Del Perú*, *33*(2), 102–116. https://doi.org/10.21704/rfp.v33i2.1224

Baer, K. C., & Maron, J. L. (2020). Ecological niche models display nonlinear relationships with abundance and demographic performance across the latitudinal distribution of Astragalus utahensis (Fabaceae). *Ecology and Evolution*, *10*(15), 8251–8264. https://doi.org/10.1002/ECE3.6532

Barrios Romero, R. (2016). *"DIVERSIDAD FLORÍSTICA LEÑOSA DE UN BOSQUE SECUNDARIO DE LA ZONA RESERVADA SIERRA DEL DIVISOR – CALLERÍA, CORONEL PORTILLO – UCAYALI"* [Universidad Nacional del Centro del Perú]. https://repositorio.uncp.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12894/3459/Barrios Romero.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Behroozian, M., Peterson, A. T., Joharchi, M. R., Atauchi, P. J., Memariani, F., & Arjmandi, A. A. (2022). Good news for a rare plant: Fine-resolution distributional predictions and field testing for the critically endangered plant Dianthus pseudocrinitus. *Conservation Science and Practice*, *4*(8), e12749. https://doi.org/10.1111/CSP2.12749

Bellone, M. L., Munõz Camero, C., Chini, M. G., Dal Piaz, F., Hernandez, V., Bifulco, G., De Tommasi, N., & Braca, A. (2021). Limonoids from Guarea guidonia and Cedrela odorata: Heat Shock Protein 90 (Hsp90) Modulator Properties of Chisomicine D. *Journal of Natural Products*, *84*(3), 724–737. https://doi.org/10.1021/ACS.JNATPROD.0C01217/ASSET/IMAGES/LARGE/NP0C01217_0005.JPEG

Berio Fortini, L., Kaiser, L. R., Xue, L., & Wang, Y. (2022). Bioclimatic variables dataset for baseline and future climate scenarios for climate change studies in Hawai'i. *Data in Brief*, *45*, 108572. https://doi.org/10.1016/J.DIB.2022.108572

Bobrowski, M., Gerlitz, L., & Schickhoff, U. (2017). Modelling the potential distribution of Betula utilis in the Himalaya. *Global Ecology and Conservation*, *11*, 69–83. https://doi.org/10.1016/J.GECCO.2017.04.003

Bucklin, D. N., Basille, M., Benscoter, A. M., Brandt, L. A., Mazzotti, F. J., Romañach, S. S., Speroterra, C., & Watling, J. I. (2015). Comparing species distribution models constructed with different subsets of environmental predictors. *Diversity and Distributions*, *21*(1), 23–35. https://doi.org/10.1111/DDI.12247

Chaves, P. P., Zuquim, G., Ruokolainen, K., Van doninck, J., Kalliola, R., Rivero, E. G., & Tuomisto, H. (2020). Mapping Floristic Patterns of Trees in Peruvian Amazonia Using Remote Sensing and Machine Learning. *Remote Sensing 2020, Vol. 12, Page 1523*, *12*(9), 1523. https://doi.org/10.3390/RS12091523

Cheng, Y., Tjaden, N. B., Jaeschke, A., Thomas, S. M., & Beierkuhnlein, C. (2021). Using centroids of spatial units in ecological niche modelling: Effects on model performance in the context of environmental data grain size. *Global Ecology and Biogeography*, *30*(3), 611–621. https://doi.org/10.1111/GEB.13240

Cotrina Sánchez, A., Rojas Briceño, N. B., Bandopadhyay, S., Ghosh, S., Torres Guzmán, C., Oliva, M., Guzman, B. K., & Salas López, R. (2021). Biogeographic distribution of Cedrela spp. Genus in Peru using maxent

modeling: A conservation and restoration approach. *Diversity*, *13*(6). https://doi.org/10.3390/d13060261

Deb, J. C., Phinn, S., Butt, N., & McAlpine, C. A. (2017). Climatic-Induced Shifts in the Distribution of Teak (Tectona grandis) in Tropical Asia: Implications for Forest Management and Planning. *Environmental Management*, *60*(3), 422–435. https://doi.org/10.1007/s00267-017-0884-6

Elith, J., Graham, C. H., Anderson, R. P., Dudik, M., Ferrier, S., Guisan, A., Hijmans, R. J., Huettmann, F., Leathwick, J. R., Lehmann, A., Li, J., Lohmann, L. G., Loiselle, B. A., Manion, G., Moritz, C., Nakamura, M., Nakazawa, Y., Overton, J. M., Peterson, A. T., … Zimmermann, N. E. (2006). Novel methods improve prediction of species' distributions from occurrence data. *Ecography*, *29*(2), 129–151. https://doi.org/10.1111/j.2006.0906-7590.04596.x

Elith, J., Leathwick, J. R., & Hastie, T. (2008). A working guide to boosted regression trees. *Journal of Animal Ecology*, *77*(4), 802–813. https://doi.org/10.1111/j.1365-2656.2008.01390.x

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

Escobar, L. E., & Craft, M. E. (2016). Advances and limitations of disease biogeography using ecological niche modeling. *Frontiers in Microbiology*, *7*(AUG), 1174. https://doi.org/10.3389/FMICB.2016.01174/BIBTEX

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. https://doi.org/10.1002/JOC.5086

Fielding, A. H., & Bell, J. F. (1997). A review of methods for the assessment of prediction errors in conservation presence/absence models. *Environmental Conservation*, *24*(1), 38–49. https://doi.org/10.1017/S0376892997000088

Gandhi, G. M., Parthiban, S., Thummalu, N., & Christy, A. (2015). Ndvi: Vegetation Change Detection Using Remote Sensing and Gis - A Case Study of Vellore District. *Procedia Computer Science*, *57*, 1199–1210. https://doi.org/10.1016/j.procs.2015.07.415

Gebrewahid, Y., Abrehe, S., Meresa, E., Eyasu, G., Abay, K., Gebreab, G., Kidanemariam, K., Adissu, G., Abreha, G., & Darcha, G. (2020). Current and future predicting potential areas of Oxytenanthera abyssinica (A. Richard) using MaxEnt model under climate change in Northern Ethiopia. *Ecological Processes*, *9*(1), 1–15. https://doi.org/10.1186/S13717-019-0210-8/TABLES/7

Guisan, A., Edwards, T. C., & Hastie, T. (2002). Generalized linear and generalized additive models in studies of species distributions: setting the scene. *Ecological Modelling*, *157*(2–3), 89–100. https://doi.org/10.1016/S0304-3800(02)00204-1

Hernández-Sampieri, R., Ferandez Collado, C., & Baptista-Lucio, P. (2014). *Metodología de la Investigación* (McGRAW-HILL (ed.); Sexta Edic).

Karichu, M. J., Ngarega, B. K., Onjalalaina, G. E., Kamau, P., & Sessa, E. B. (2022). The potential distributions of African Azolla species and their implications for African wetland ecosystems for the future. *Ecology and Evolution*, *12*(8), e9210. https://doi.org/10.1002/ECE3.9210

Lima, N. R., Moreno, J. A., Eras, V. H., Patiño, J. M., González, D., Yaguana, M., & Valarezo, C. (2018). Propagación in vitro de Cinchona officinalis L a partir de semillas In vitro propagation of Cinchona officinalis L from seeds. *Journal of High Andean Research*, *20*(2), 169–178. https://doi.org/http://dx.doi.org/10.18271/ria.2018.361

Liu, C., White, M., & Newell, G. (2018). Detecting outliers in species distribution data. *Journal of Biogeography*, *45*(1), 164–176. https://doi.org/10.1111/JBI.13122

Lü, G., Batty, M., Strobl, J., Lin, H., Zhu, A. X., & Chen, M. (2019). Reflections and speculations on the progress in Geographic Information Systems (GIS): a geographic perspective. *International Journal of Geographical Information Science*, *33*(2), 346–367. https://doi.org/10.1080/13658816.2018.1533136

Maciel-Mata, C. A., Manríquez Morán, N., Octavio Aguilar, P., & Sánchez Rojas, G. (2015). Geographical distribution of the species: a concept review. *Acta Universitaria*, *25*(2), 3–19. https://doi.org/10.15174/au.2015.690

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

Militino, A. F., Ugarte, M. D., & Pérez-Goya, U. (2017). Stochastic Spatio-Temporal Models for Analysing NDVI Distribution of GIMMS NDVI3g Images. *Remote Sensing 2017, Vol. 9, Page 76*, *9*(1), 76. https://doi.org/10.3390/RS9010076

MINAGRI. (2019). LISTA OFICIAL DE ESPECIES FORESTALES.

RESOLUCION DE DIRECCION EJECUTIVA N° 118-2019-MINAGRI-SERFOR-DE.

MINAM. (2019). *Mapa Nacional de Ecosistemas del Perú*. https://geoservidor.minam.gob.pe/recursos/intercambio-de-datos/

Mohtashami, A., Monfared, S. A. H., Azizyan, G., & Akbarpour, A. (2022). Numerical simulation of groundwater in an unconfined aquifer with a novel hybrid model (case study: Birjand Aquifer, Iran). *Journal of Hydroinformatics*, *24*(1), 160–178. https://doi.org/10.2166/HYDRO.2021.113

Monteiro Lima, M. V. (2012). *Modelação da distribuição geográfica de anfíbios à escala local : implicações na Conservação M ODELAÇÃO DA DISTRIBUIÇÃO GEOGRÁFICA DE ANFÍBIOS À ESCALA*. Universidade de Évora.

Monteverde-Calderón, E. G. (2021). Evaluación rápida de la regeneración natural de Cedrelinga cateniformis en un bosque premontano de Satipo, Perú. *Xilema*, *31*(1), 75–83. https://doi.org/10.21704/x.v31i1.1777

Mota Vargas, C., Encarnación Luévano, A., Ortega Andrade, H. M., Prieto Torres, D. A., Peña Peniche, A., & Rojas Soto, O. R. (2020). Una breve introducción a los modelos de nicho ecológico. *La Biodiversidad En Un Mundo Cambiante: Fundamentos Teóricos y Metodológicos Para Su Estudio.*, 237–264.

Murga-Orrillo, H., Coronado Jorge, M. F., Abanto-Rodríguez, C., Almeida Lobo, F. De, Murga-Orrillo, H., Coronado Jorge, M. F., Abanto-Rodríguez, C., & Almeida Lobo, F. De. (2021). Gradiente altitudinal y su influencia en las características edafoclimáticas de los bosques tropicales. *Madera y Bosques*, *27*(3). https://doi.org/10.21829/MYB.2021.2732271

Němec, P. (2015). COMPARISON OF MODERN FOREST INVENTORY METHOD WITH THE COMMON METHOD FOR MANAGEMENT OF TROPICAL RAINFOREST IN THE PERUVIAN AMAZON on JSTOR. *Journal of Tropical Forest Science*, *21*(1), 80–91. https://www.jstor.org/stable/43150977

OSINFOR. (2015). *FICHAS DE IDENTIFICACION DE ESPECIES FORESTALES MADERABLES DE LA SELVA CENTRAL* (Primera Edición). www.osinfor.gob.pe

Pando, B. B., & Giles, J. P. (2007). Aplicación de modelos de distribución de especies a la conservación de la biodiversidad en el sureste de la Península Ibérica. *GeoFocus*, *7*(June 2014), 100–119. http://geofocus.rediris.es/2007/Articulo6_2007.pdf

Parviainen, M., Zimmermann, N. E., Heikkinen, R. K., & Luoto, M. (2013). Using unclassified continuous remote sensing data to improve distribution models of red-listed plant species. *Biodiversity and Conservation 2013 22:8*, *22*(8), 1731–1754. https://doi.org/10.1007/S10531-013-0509-1

Paucar Cardenas, S. (2011). *"REGENERACIÓN NATURAL DE Cedrelinga catenaeformis Ducke EN BOSQUE INTERVENIDO DE LA COMUNIDAD NATIVA CATUNGO QUIMPIRI-RÍO TAMBO-JUNÍN"* [UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CENTRO DEL PERÚ]. https://repositorio.uncp.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12894/4015/Paucar Cardenas.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Pearson, R. G., & Dawson, T. P. (2003). Predicting the impacts of climate change on the distribution of species: Are bioclimate envelope models useful? *Global*

Ecology and Biogeography, *12*(5), 361–371. https://doi.org/10.1046/j.1466-822X.2003.00042.x

Pettorelli, N., Vik, J. O., Mysterud, A., Gaillard, J. M., Tucker, C. J., & Stenseth, N. C. (2005). Using the satellite-derived NDVI to assess ecological responses to environmental change. *Trends in Ecology & Evolution*, *20*(9), 503–510. https://doi.org/10.1016/J.TREE.2005.05.011

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

Phillips, S. J., Dudík, M., Elith, J., Graham, C. H., Lehmann, A., Leathwick, J., & Ferrier, S. (2009). Sample selection bias and presence-only distribution models: Implications for background and pseudo-absence data. *Ecological Applications*, *19*(1), 181–197. https://doi.org/10.1890/07-2153.1

Qazi, A. W., Saqib, Z., & Zaman-ul-Haq, M. (2022). Trends in species distribution modelling in context of rare and endemic plants: a systematic review. *Ecological Processes*, *11*(1), 1–11. https://doi.org/10.1186/S13717-022-00384-Y/TABLES/2

Qie, L., Telford, E. M., Massam, M. R., Tangki, H., Nilus, R., Hector, A., & Ewers, R. M. (2019). Drought cuts back regeneration in logged tropical forests. *Environmental Research Letters*, *14*(4), 045012. https://doi.org/10.1088/1748-9326/AB0783

Quispe Rojas, W. R. (2022). *Modelamiento de los efectos del cambio climático en la distribución potencial de seis especies del género Polylepis en los andes Peruanos* [Universidad Nacional del Centro del Perú].

https://www.researchgate.net/publication/365904736_Modelamiento_de_los_efectos_del_cambio_climatico_en_la_distribucion_potencial_de_seis_especies_del_genero_polylepis_en_los_Andes_Peruanos

Randin, C. F., Ashcroft, M. B., Bolliger, J., Cavender-Bares, J., Coops, N. C., Dullinger, S., Dirnböck, T., Eckert, S., Ellis, E., Fernández, N., Giuliani, G., Guisan, A., Jetz, W., Joost, S., Karger, D., Lembrechts, J., Lenoir, J., Luoto, M., Morin, X., … Payne, D. (2020). Monitoring biodiversity in the Anthropocene using remote sensing in species distribution models. *Remote Sensing of Environment*, *239*, 111626. https://doi.org/10.1016/J.RSE.2019.111626

Redmond, M. D., Weisberg, P. J., Cobb, N. S., & Clifford, M. J. (2018). Woodland resilience to regional drought: Dominant controls on tree regeneration following overstorey mortality. *Journal of Ecology*, *106*(2), 625–639. https://doi.org/10.1111/1365-2745.12880

Reynel, C., Pennington, R. T., & Pennington, T. D. (2003). *Arboles útiles de la Amazonía peruana : un manual con apuntes de identificación, ecología y propagación de las especies* . Tarea Gráfica Educativa. https://www.worldcat.org/es/title/arboles-utiles-de-la-amazonia-peruana-un-manual-con-apuntes-de-identificacion-ecologia-y-propagacion-de-las-especies/oclc/835128662

Rubén Mateo, G., Felicísimo, Á. M., & Muñoz, J. (2012). Modelos de distribución de especies y su potencialidad como recurso educativo interdisciplinar. *REDUCA (Biología)*, *January*.

San, B. T., & Süzen, M. L. (2005). Digital elevation model (DEM) generation and

accuracy assessment from ASTER stereo data. *International Journal of Remote Sensing*, *26*(22), 5013–5027. https://doi.org/10.1080/01431160500177620

Sánchez Carlessi, H., Reyes Romero, C., & Mejía Sáenz, K. (2018). *Manual de términos en investigación científica, tecnológica y humanística* (Universidad Ricardo Palma (ed.); Primera, Vol. 1). https://www.urp.edu.pe/pdf/id/13350/n/libro-manual-de-terminos-en-investigacion.pdf

Savino, C., Diodato, L., Gatto, M., & Zerda, H. (2014). Modelos de Distribución Potencial de Especies. *Instituto de Protección Vegetal*, *December 2015*, 1–8. https://doi.org/10.13140/RG.2.1.4962.6965

Shankhwar, R., Bhandari, M. S., Meena, R. K., Shekhar, C., Pandey, V. V., Saxena, J., Kant, R., Barthwal, S., Naithani, H. B., Pandey, S., Pandey, A., & Ginwal, H. S. (2019). Potential eco-distribution mapping of Myrica esculenta in northwestern Himalayas. *Ecological Engineering*, *128*(July 2018), 98–111. https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2019.01.003

Sinclair, S. J., White, M. D., & Newell, G. R. (2010). How useful are species distribution models for managing biodiversity under future climates? *Ecology and Society*, *15*(1). https://doi.org/10.5751/ES-03089-150108

Supratman, S. E. ;, Harneti, U. ;, Phytochemistry, D., Safriansyah, W., Sinaga, S. E., Supratman, U., & Harneti, D. (2022). Phytochemistry and Biological Activities of Guarea Genus (Meliaceae). *Molecules 2022, Vol. 27, Page 8758*, *27*(24), 8758. https://doi.org/10.3390/MOLECULES27248758

Tao, S., Labrière, N., Calders, K., Fischer, F. J., Rau, E. P., Plaisance, L., &

Chave, J. (2021). Mapping tropical forest trees across large areas with lightweight cost-effective terrestrial laser scanning. *Annals of Forest Science*, *78*(4), 1–13. https://doi.org/10.1007/S13595-021-01113-9/FIGURES/8

Tesfamariam, B. G., Gessesse, B., & Melgani, F. (2022). MaxEnt-based modeling of suitable habitat for rehabilitation of Podocarpus forest at landscape-scale. *Environmental Systems Research 2022 11:1*, *11*(1), 1–12. https://doi.org/10.1186/S40068-022-00248-6

Vandelook, F., Janssens, S. B., & Probert, R. J. (2012). Relative embryo length as an adaptation to habitat and life cycle in Apiaceae. *New Phytologist*, *195*(2), 479–487. https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.2012.04172.x

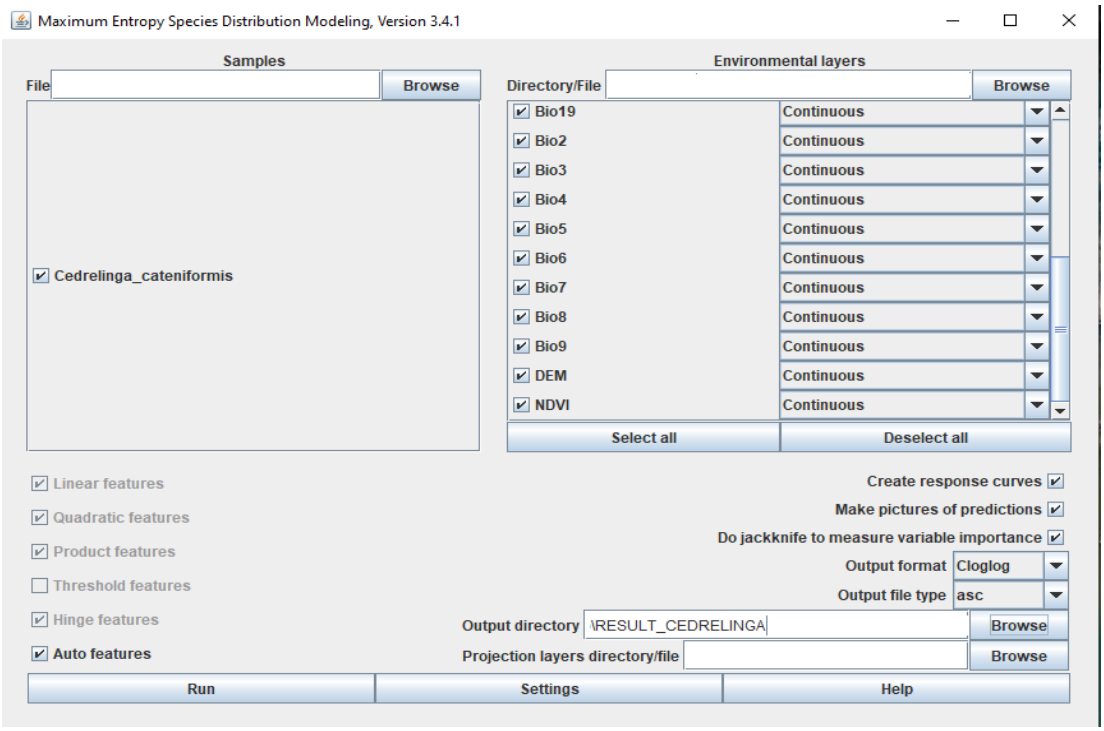
Vargas, Z. R. (2009). La investigación aplicada: Una Forma de Conocer las Realidades con Evidencia Científica. *Revista Educación*, *33*, 155–165.

Yan, D., Chen, W., Liu, L., Li, J., Liu, L., & Wang, Y. (2017). Change in current and future geographic distributions of Ulmus lamellosa in China. *Journal of Forestry Research*, *1*, 1–10. https://doi.org/10.1007/s11676-017-0503-7

ANEXOS

Figura 18.

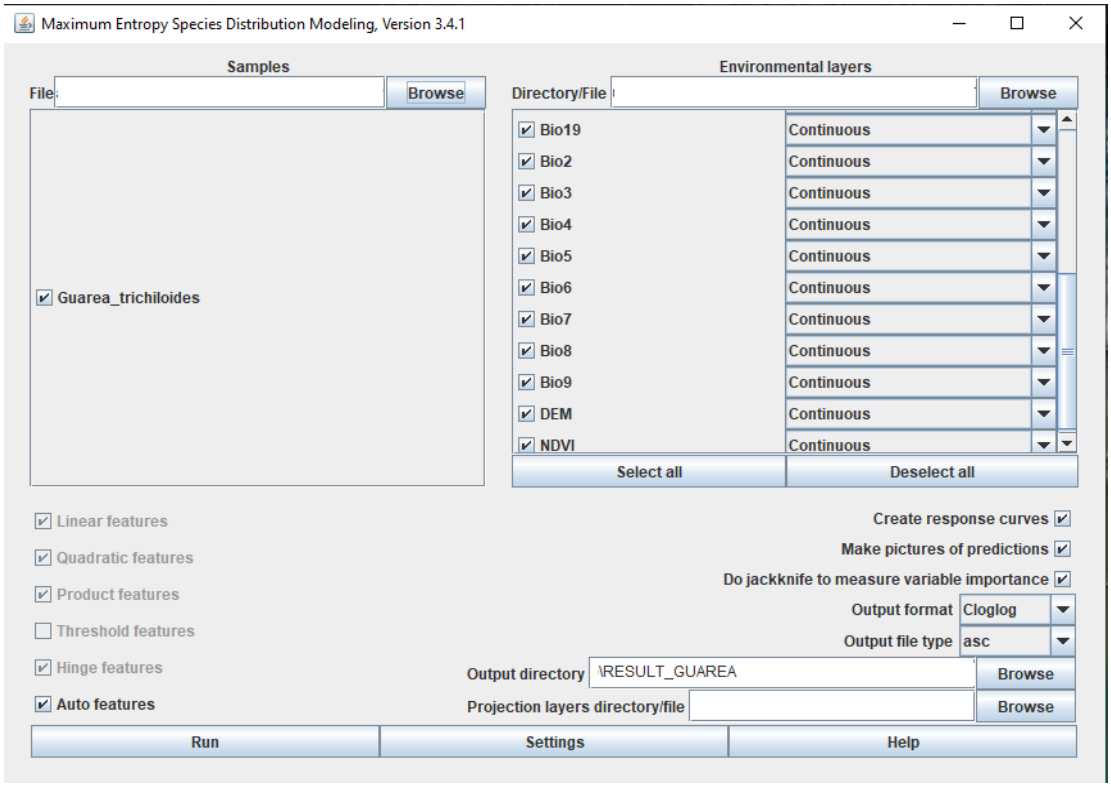
Interfaz de Maxent y los datos de Tornillo para el modelado



Fuente: Proceso del modelamiento en el Maxent 3.4.1

Figura 19.

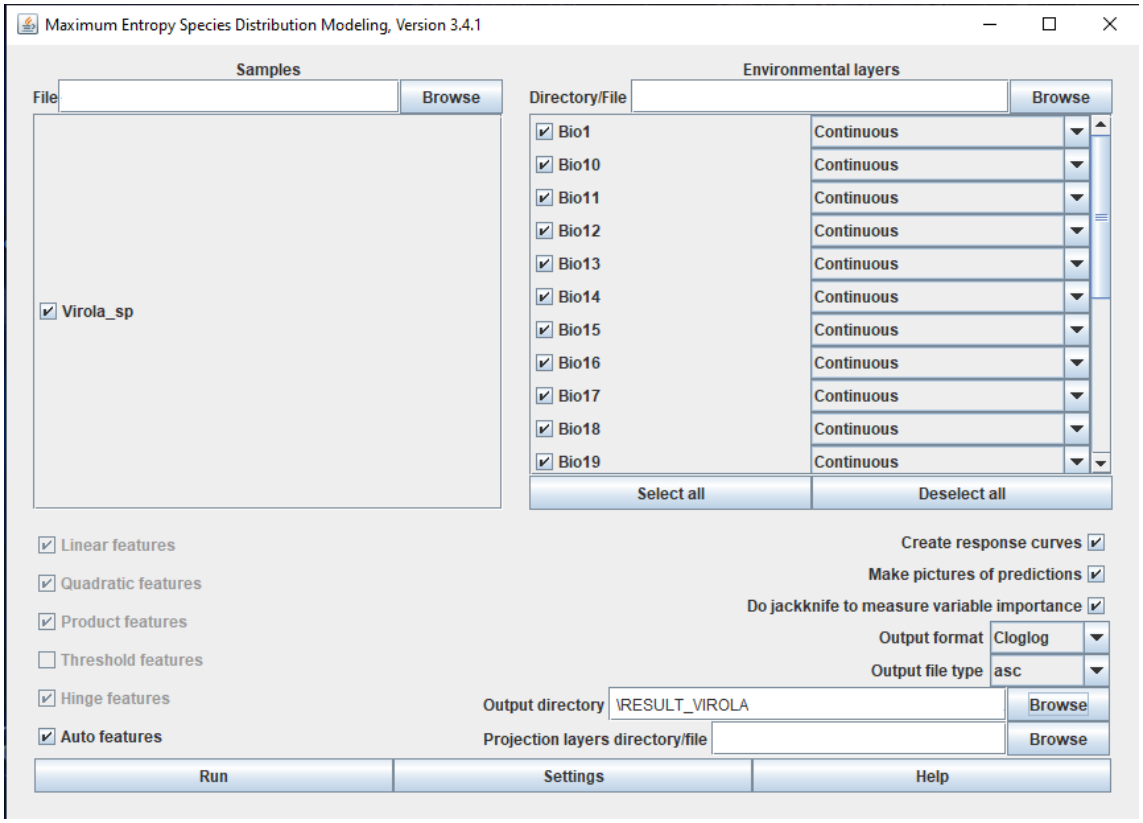
Interfaz de Maxent y los datos de Requia para el modelado



Fuente: Proceso del modelamiento en el Maxent 3.4.1

Figura 20.

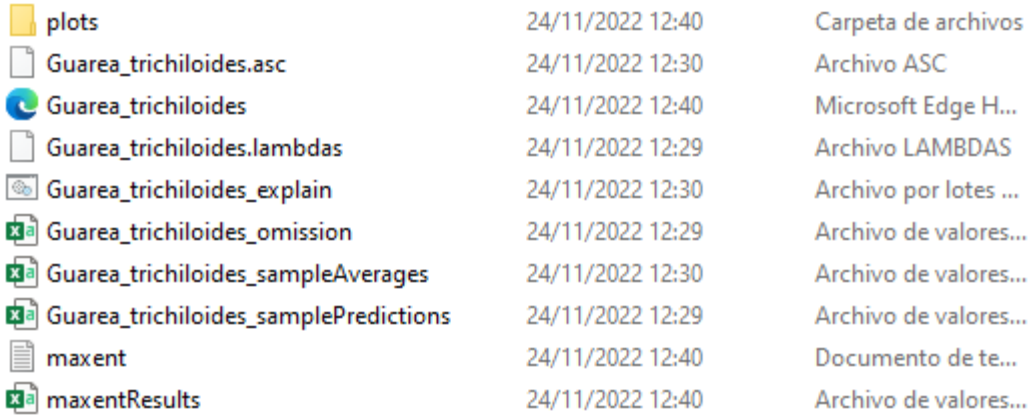
Interfaz de Maxent y los datos de Cumala blanca para el modelado



Fuente: Proceso del modelamiento en el Maxent 3.4.1

Figura 21.

Resultados del proceso de modelado en Maxent

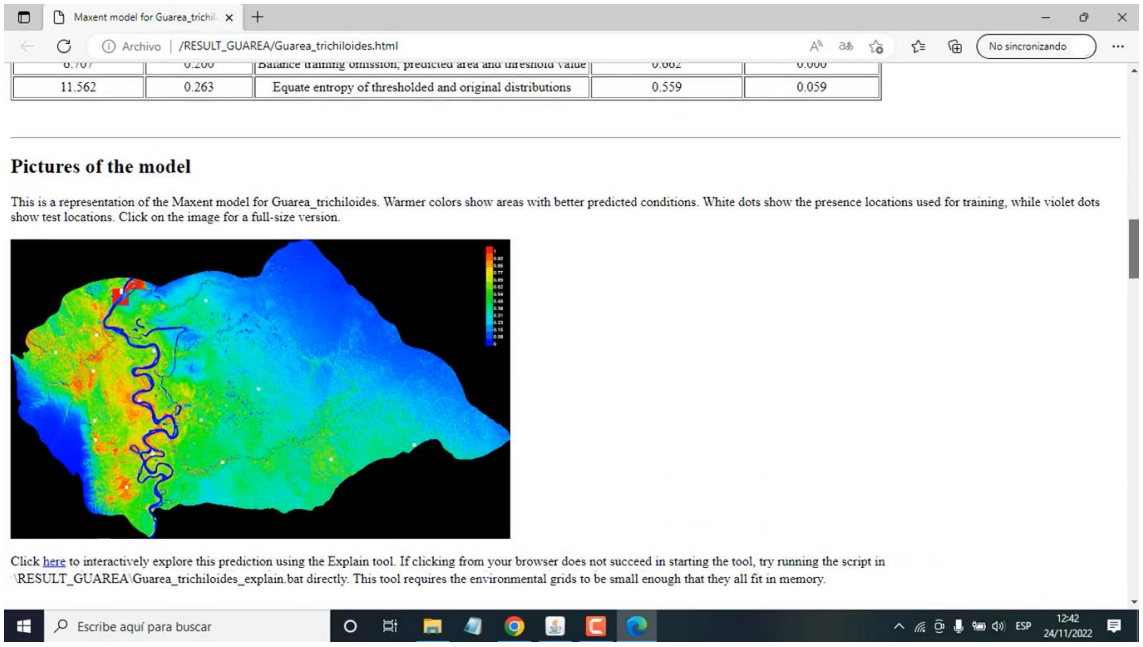


plots	24/11/2022 12:40	Carpeta de archivos
Guarea_trichiloides.asc	24/11/2022 12:30	Archivo ASC
Guarea_trichiloides	24/11/2022 12:40	Microsoft Edge H...
Guarea_trichiloides.lambdas	24/11/2022 12:29	Archivo LAMBDAS
Guarea_trichiloides_explain	24/11/2022 12:30	Archivo por lotes ...
Guarea_trichiloides_omission	24/11/2022 12:29	Archivo de valores...
Guarea_trichiloides_sampleAverages	24/11/2022 12:30	Archivo de valores...
Guarea_trichiloides_samplePredictions	24/11/2022 12:29	Archivo de valores...
maxent	24/11/2022 12:40	Documento de te...
maxentResults	24/11/2022 12:40	Archivo de valores...

Fuente: Elaboración propia, resultado del modelamiento en el Maxent 3.4.1

Figura 22.

Visualización previa de resultados HTML del modelado en Maxent



11.562	0.263	Equate entropy of thresholded and original distributions	0.559	0.059

Pictures of the model

This is a representation of the Maxent model for Guarea_trichiloides. Warmer colors show areas with better predicted conditions. White dots show the presence locations used for training, while violet dots show test locations. Click on the image for a full-size version.

Click here to interactively explore this prediction using the Explain tool. If clicking from your browser does not succeed in starting the tool, try running the script in \RESULT_GUAREA\Guarea_trichiloides_explain.bat directly. This tool requires the environmental grids to be small enough that they all fit in memory.

Fuente: Elaboración propia, resultado del modelamiento en el Maxent 3.4.1