

UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO USFQ

Colegio de Ciencias Biológicas y Ambientales

¿Dónde podemos encontrar a las tres especies de Magnolias (Género *Magnolia*) del Chocó Andino?

Fernando Antonio Rosero Alvarez

Biología

Trabajo de fin de carrera presentado como requisito
para la obtención del título de
Biologo

Quito, ocho de diciembre de 2024

UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO USFQ

Colegio de Ciencias Biológicas y Ambientales

**HOJA DE CALIFICACIÓN
DE TRABAJO DE FIN DE CARRERA**

**¿Dónde podemos encontrar a las tres especies de Magnolias
(Género *Magnolia*) del Chocó Andino?**

Fernando Antonio Rosero Alvarez

Hugo Alberto Valdebenito Milling, Ph.D., Tutor de Proyecto de Titulación

Quito, ocho de diciembre de 2024

© DERECHOS DE AUTOR

Por medio del presente documento certifico que he leído todas las Políticas y Manuales de la Universidad San Francisco de Quito USFQ, incluyendo la Política de Propiedad Intelectual USFQ, y estoy de acuerdo con su contenido, por lo que los derechos de propiedad intelectual del presente trabajo quedan sujetos a lo dispuesto en esas Políticas.

Asimismo, autorizo a la USFQ para que realice la digitalización y publicación de este trabajo en el repositorio virtual, de conformidad a lo dispuesto en la Ley Orgánica de Educación Superior del Ecuador.

Nombres y apellidos: Fernando Antonio Rosero Alvarez

Código: 00321885

Cédula de identidad: 1720025871

Lugar y fecha: Quito, ocho de diciembre de 2024

ACLARACIÓN PARA PUBLICACIÓN

Nota: El presente trabajo, en su totalidad o cualquiera de sus partes, no debe ser considerado como una publicación, incluso a pesar de estar disponible sin restricciones a través de un repositorio institucional. Esta declaración se alinea con las prácticas y recomendaciones presentadas por el Committee on Publication Ethics COPE descritas por Barbour et al. (2017) Discussion document on best practice for issues around theses publishing, disponible en <http://bit.ly/COPETHeses>.

UNPUBLISHED DOCUMENT

Note: The following capstone project is available through Universidad San Francisco de Quito USFQ institutional repository. Nonetheless, this project – in whole or in part – should not be considered a publication. This statement follows the recommendations presented by the Committee on Publication Ethics COPE described by Barbour et al. (2017) Discussion document on best practice for issues around theses publishing available on <http://bit.ly/COPETHeses>.

RESUMEN

El Chocó Andino del noroeste de Ecuador es reconocido como un punto crítico de biodiversidad amenazado, con muchos de sus misterios ecológicos aún inexplorados y con frecuentes descubrimientos nuevos. Esto se ve para las tres especies nativas de *Magnolia* (*M. chiguila*, *M. mashpi* y *M. mindoensis*), dos de las cuales se consideran endémicas de esta área (*M. chiguila*, *M. mashpi*) y fueron descritas científicamente hace menos de una década. Sin embargo, datos biológicos cruciales, incluida la distribución de estas especies, siguen siendo incompletos. Este estudio tiene como objetivo mejorar la comprensión de la distribución potencial de estas especies de *Magnolia* dentro de la zona norte de la “Reserva de la Biósfera del Chocó Andino de Pichincha” y áreas adyacentes, proporcionando una base para esfuerzos de conservación específicos. Se recopilaron datos de campo como parte del “Proyecto Magnolias”, complementados con registros de ocurrencia de la base de datos del Global Biodiversity Information Facility (GBIF). Estos puntos de ocurrencia se integraron con 19 variables bioclimáticas del conjunto de datos de WorldClim para desarrollar modelos de idoneidad del hábitat utilizando la herramienta de modelado de distribución de especies MaxEnt. El desempeño de los modelos se evaluó mediante curvas de respuesta, curvas ROC y valores AUC, que indicaron una alta precisión en la predicción de hábitats adecuados, con valores de AUC de 0.957 para *M. chiguila*, 0.970 para *M. mashpi* y 0.955 para *M. mindoensis*. Los mapas de potencial distribución resultantes proporcionan una visión más clara de donde se pudieran encontrar estas especies de *Magnolia*, identificando áreas clave para futuros estudios y guiando las prioridades de conservación. Esta investigación aporta valiosos conocimientos sobre los requerimientos ecológicos y la distribución espacial de estas especies de *Magnolia* descritas recientemente, destacando regiones del noroeste del Chocó Andino que merecen atención para la preservación de la biodiversidad y futuras iniciativas de investigación.

Palabras clave: Magnoliaceae, Maxent, Ecuador, Distribución Potencial

ABSTRACT

The Chocó Andino of northwestern Ecuador is recognized as a threatened biodiversity hotspot, with many of its ecological mysteries still unexplored and new discoveries frequently emerging. This is especially true for the three native *Magnolia* species (*M. chiguila*, *M. mashpi*, and *M. mindoensis*) two of them are considered as endemic to this area (*M. chiguila*, *M. mashpi*), which were described scientifically less than a decade ago. However, crucial biological data, including the distribution of these species, remain incomplete. This study aims to enhance understanding of the potential distribution of these *Magnolia* species within the northern “Reserva de la Biosfera del Chocó Andino de Pichincha” and adjacent regions, providing a foundation for targeted conservation efforts. Field data were collected as part of the “Proyecto Magnolias,” supplemented with occurrence records from the Global Biodiversity Information Facility (GBIF) database. These occurrence points were integrated with 19 bioclimatic variables from the WorldClim dataset to develop habitat suitability models using the MaxEnt species distribution modeling tool. Model performance was evaluated using Response Curves, ROC Curves, and AUC scores, which indicated high accuracy in predicting suitable habitats, with AUC values of 0.957 for *M. chiguila*, 0.970 for *M. mashpi*, and 0.955 for *M. mindoensis*. The resulting habitat suitability maps provide a clearer picture of the potential distribution ranges for these *Magnolia* species, identifying key areas for further study and guiding conservation priorities. This research contributes valuable insights into the ecological requirements and spatial distribution of these recently described *Magnolia* species, highlighting regions in the northwestern Chocó Andino that warrant attention for biodiversity preservation and future research initiatives.

Keywords: Magnoliaceae, Habitat suitability modeling, Potential Distribution, Ecuador

TABLA DE CONTENIDO

Introducción.....	10
Metodología.....	14
Definiendo el Área de Estudio	14
Obtención de Datos	15
Análisis de Datos, MaxEnt.....	18
Resultados.....	20
<i>Mangnolia chiguila</i>	20
<i>Magnolia mashpi</i>	22
<i>Magnolia mindoensis</i>	24
Discusión	27
<i>Magnolia chiguila</i>	27
<i>Magnolia mashpi</i>	28
<i>Magnolia mindoensis</i>	29
Consideraciones generales.....	31
Conclusiones.....	33
Referencias	34
Anexo A: Tabla porcentajes de contribución para las especies.....	37
Anexo B: Tabla de Importancia de Permutación para las especies.....	39

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 - Nombres de variables climáticas.....	18
Tabla 2- Porcentaje de Contribución, M. chiguila	22
Tabla 3 - Importancia de la Permutación, M. chiguila	22
Tabla 4 - Porcentaje de la Contribución, M. mashpi	24
Tabla 5 - Importancia de la Permutación, M. mashpi	24
Tabla 6- Porcentaje de la Contribución, M. mindoensis	26
Tabla 7- Importancia de Permutación, M. mindoensis.....	26

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 – Área de Estudio	15
Figura 2 - Cantidad y Origen de las Ocurrencias	16
Figura 3 - Mapa con la distribución, por especie	17
Figura 4 – Resultado MaxEnt, para M. chiguila	21
Figura 5 – Gráfico de Omisión y Área Predicha y Gráfico de sensibilidad vs 1 – especificidad, para M. chiguila	21
Figura 6 – Resultado MaxEnt, para M. mashpi.....	23
Figura 7 - Gráfico de Omisión y Área Predicha y Gráfico de sensibilidad vs 1 – especificidad, M. mashpi	23
Figura 8 - Resultado MaxEnt, para M. mindoensis.....	25
Figura 9 - Gráfico de Omisión y Área Predicha y Gráfico de sensibilidad vs 1 – especificidad, M. mindoensis.....	25
Figura 10 - Áreas Probables, M. chiguila.....	28
Figura 11 - Áreas probable, M. mashpi.....	29
Figura 12 - Áreas Probable, M. mindoensis	30
Figura 13 - Mapa con áreas probables de distribución con mayor al 50%, para las tres especies	31

INTRODUCCIÓN

La familia Magnoliaceae Juss. es una familia primitiva de plantas distribuidas principalmente en Asia y las Américas. Se caracteriza por la presencia de árboles de gran tamaño con flores blancas y muy fragantes (-Vázquez-García et al., 2015). Estas plantas poseen flores protóginas de gran tamaño, carnosas y llamativas, que han sido esenciales para comprender los conceptos básicos de las flores de angiospermas primitivas (Pérez Castañeda, 2015; Vázquez-García et al., 2015). La familia está clasificada en solo dos géneros, divididos en tres subgéneros, 12 secciones y tres subsecciones (Pérez Castañeda, 2015). En Ecuador, hasta el momento, se han reconocido 23 especies, incluidas en dos subsecciones:

Dungandiodendron y *Talauma* (ambas pertenecientes a la sección *Talauma*), distribuidas a lo largo de las estribaciones orientales y occidentales de la cordillera de los Andes (Pérez Castañeda, 2015).

Con un enfoque en la Reserva de la Biosfera del Chocó Andino de Pichincha (RBCAP) y zonas aledañas, que abarca el 30.31% del noroccidente de la provincia de Pichincha, donde se encuentran varios poblados importantes, principalmente en turismo y el sector agropecuario, como Mindo, San Miguel de los Bancos, Nanegalito y Pacto , se destaca la existencia de múltiples áreas de conservación, tanto públicas como privadas (Ocaña Zambrano et al., 2021). Además se extiende al sur del Cantón Cotacachi de la provincia de Imbabura. Esta reserva forma parte de la región biogeográfica del Chocó, considerada un *hotspot* de biodiversidad a nivel mundial (Pujota Pinango, 2020). Además, debido a su variación altitudinal, el Chocó Andino alberga un alto grado de biodiversidad y endemismo (Ocaña Zambrano et al., 2021; Pujota Pinango, 2020). Esto también se refleja en la familia Magnoliaceae Juss., que cuenta con la presencia de tres especies descritas y dos de ellas

endémicas del género *Magnolia* al Chocó Andino (Pérez et al., 2016; Vázquez-García et al., 2016).

Magnolia mindoensis (subsección *Talauma*, sección *Talauma*), distribuida desde el sur de Colombia hasta el norte de la provincia de Cotopaxi, entre los 1150 y 2000 msnm, es considerada endémica del Chocó biogeográfico, con una baja densidad poblacional (Pérez Castañeda, 2015; Vázquez-García et al., 2016; Vázquez-García et al., 2015). A pesar de su amplia distribución, está evaluada por la IUCN como vulnerable (V) (Rivers, 2018). Su nombre hace referencia a su localidad tipo, específicamente dentro de la reserva Mindo Lindo, al norte del valle de Mindo (Vázquez-García et al., 2016), siendo que su localidad tipo es en el centro del Chocó Andino, lo que la convierte en un posible símbolo de la conservación de esta importante región.

Dentro de la subsección *Dugandiodendron* (sección *Talauma*) se encuentran otras dos especies endémicas en el Chocó Andino: *Magnolia chiguila* y *Magnolia mashpi* (Pérez Castañeda, 2015). La primera tiene un rango de distribución endémico en torno al río Guayllabamba, entre las provincias de Pichincha e Imbabura, a una altitud entre los 700 y 1200 msnm (Pérez et al., 2016; Pérez Castañeda, 2015; Vázquez-García et al., 2015), y está considerada en peligro crítico (CR) (Pérez Castañeda et al., 2020). Por otro lado, *M. mashpi* es endémica de la reserva Mashpi, situada entre los 800 y 1000 msnm en el noroccidente de la provincia de Pichincha, donde es abundante (Pérez et al., 2016). Debido a esto, se la clasifica como de preocupación menor (LC) (Pérez Castañeda & Allen, 2020).

En Ecuador, la familia Magnoliaceae Juss ha experimentado un aumento en el número de especies conocidas para la ciencia en los últimos años, de cinco especies en 1999 a 23 para el 2015 (Pérez Castañeda, 2015; Vázquez-García et al., 2015), lo que ha evidenciado una falta de conocimiento en muchos aspectos básicos e investigaciones dentro del país; como son su taxonomía, poblaciones, sus ciclos de vida, fenología, depredadores, polinizadores,

etc; de estas nuevas especies (Pérez Castañeda, 2015; Vázquez-García et al., 2015). Un claro ejemplo de esto se observa en las tres especies de *Magnolia* (*M. mindoensis*, *M. chiguila* y *M. mashpi*) que habitan la RBCAP estas especies fueron descritas en 2016 (Pérez et al., 2016; J. Vázquez-García et al., 2016), lo que convierte a esta región en un nuevo campo de estudio, con un vasto potencial para generar y compartir conocimientos. Como en investigación taxonómica, ecología reproductiva, distribución geográfica, que son fundamentales para comprender y conservar estas especies en este hotspot de diversidad, que se encuentra muy amenazado por factores antropogénicos (Ocaña Zambrano et al., 2021).

Cabe destacar que la RBCAP y sus alrededores son zonas de gran importancia económica, debido a la abundancia de recursos y servicios ecosistémicos que ofrece. Sin embargo, estos mismos recursos han convertido a la región en un objetivo para actividades que la degradan, como la minería, los monocultivos y la ganadería intensiva (Pujota Pinango, 2020). A pesar de estos riesgos, el territorio también posee un gran potencial para el desarrollo del turismo, particularmente a través del turismo sostenible y el ecoturismo, aprovechando su extraordinario patrimonio natural y cultural, que ya existen múltiples negocios y personas que se han y se benefician de estos (Ocaña Zambrano et al., 2021). Estas actividades se han utilizado y se pueden seguir empleando como herramientas clave para la conservación y restauración de áreas degradadas por la intervención humana (Blangy & Mehta, 2006).

Este trabajo de titulación forma parte de un proyecto de vinculación que se llama “Identificación, distribución y propagación de dos especies endémicas de plantas (*Magnolia mindoensis* y *Magnolia mashpi*) con participación activa y empoderamiento de la comunidad de Mindo y San Francisco de Pachijal”, es conocido informalmente como “Proyecto Magnolias” (de esta forma será referido a lo largo del texto). El cual es una iniciativa que empezó en 2023, conformada por la Universidad San Francisco de Quito (USFQ), la

Pontificia Universidad Católica del Ecuador (PUCE), las reservas Mashpi y Mindo Lindo (de la Fundación Ecuador Verde Esperanza), junto a voluntarios locales y de estas instituciones. Con objetivos principales la identificación, el estudio, protección y propagación de las especies de *Magnolia* del Noroccidente de Pichincha con la participación e interés de las personas locales.

El objetivo principal de este proyecto de investigación es contribuir significativamente al conocimiento sobre la distribución de las tres especies del género *Magnolia*: *M. mindoensis*, *M. chiguila* y *M. mashpi*, en el noroccidente de la Reserva de la Biosfera del Chocó Andino de Pichincha y sus alrededores. De manera más específica, se pretende utilizar ubicaciones de las poblaciones encontradas de estas tres especies en campo, utilizando técnicas de muestreo y georreferenciación. Complementando los datos obtenidos en campo, se incluirán datos en línea encontrados en las bases de datos de GBIF.org de distribución para estas especies. A partir de estos datos de ocurrencia se generarán mapas, empleando datos climáticos para ver sus rangos probables en la región, para poder conocer las áreas posibles para seguir con el estudio de estas especies, y las cuales servirán como puntos para la conservación de las mismas.

Todo esto tiene como fin responder a la pregunta, ¿dónde hay y dónde se podrían encontrar poblaciones de *M. mindoensis*, *M. chiguila* y *M. mashpi* dentro del Chocó Andino y sus alrededores? Identificar donde hay poblaciones de fácil acceso para su monitoreo y posibles lugares para la exploración, que no solo permitirá ampliar el conocimiento científico sobre estas especies emblemáticas, sino que también proporcionará información valiosa para la de conservación y ecoturismo del área. Al conocer los sitios donde estas especies se desarrollan, será posible tomar decisiones más informadas que contribuyan a la preservación de estas especies y su hábitat en este ecosistema único y amenazado.

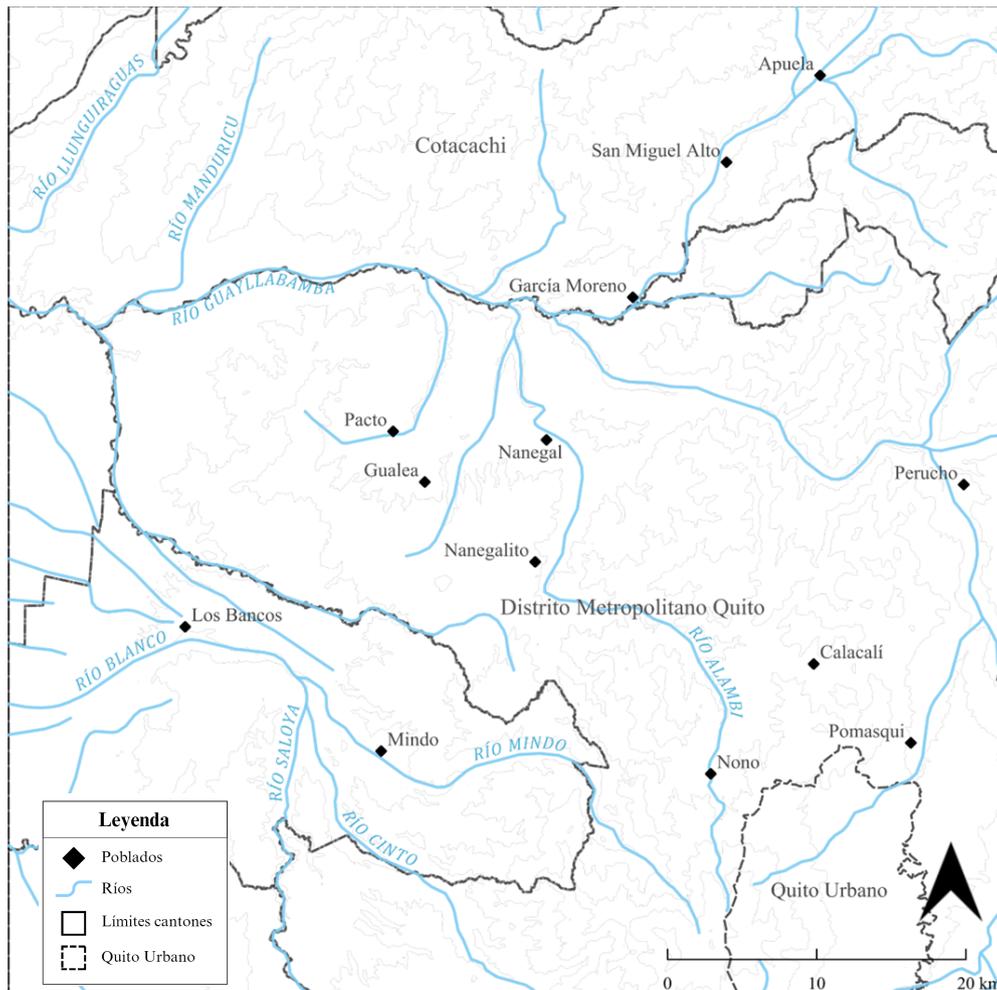
METODOLOGÍA

Área de Estudio

Este estudio se centra en el Chocó Andino, una región de notable riqueza ecológica ubicada en el noroccidente de la provincia de Pichincha, Ecuador. En particular, abarca el Cantón San Miguel de los Bancos y el lado occidental del Distrito Metropolitano de Quito, áreas reconocidas por su biodiversidad y su importancia para la conservación ambiental (Pujota Pinango, 2020). Esta región forma parte de la zona de transición entre los ecosistemas de altura de la Sierra ecuatoriana y la región del Chocó en la Costa, lo que le otorga características únicas y una gran variedad de ecosistemas.

Adicionalmente, se pueden considerar como parte de esta región el sector oriental del cantón Pedro Vicente Maldonado. Además, extendiéndose hacia pequeñas áreas que se encuentran en contacto directo con las zonas previamente mencionadas como lo son: el nororiente del cantón Santo Domingo en la provincia de Santo Domingo de los Tsáchilas, y las zonas al sur del cantón Cotacachi en Imbabura.

Para delimitar el área de estudio de manera precisa, se establecieron coordenadas que abarcan desde los -79° hasta los -78.4° de longitud, y de -0.2° a 0.4° de latitud, como se observa en la Figura 1, que comprende la parte norccidental de la Reserva de la Biosfera del Chocó Andino de Pichincha y sus alrededores. Dentro de estas delimitaciones, es donde se han descrito la presencia de *M. chiguila* y *M. mashpi* (Pérez et al., 2016). Además, esta delimitación permite concentrar el análisis en un área específica y relevante (es la parte degradada y amenazada por actividades antropogénicas, dado el alto tránsito, concentración de zonas pobladas y agropecuarias). Facilitando la obtención de resultados enfocados en las características ecológicas y la distribución de estas especies en el Chocó Andino, contribuyendo así a una mejor comprensión y conservación de esta valiosa región.



(QGIS 3.34.11, 2023)

Figura 1 – Área de Estudio

Obtención de Datos

Los datos se obtuvieron de dos maneras diferentes, que sus cantidades se observan detalladas en la Figura 2, la primera de estas maneras fue los datos obtenidos en salidas de campo como parte del Proyecto Magnolias y la segunda los obtenidos en los datos de ocurrencias en GBIF.org, que se los adicionaron posteriormente para complementar los datos obtenidos en campo y cabe destacar que estos tuvieron menores ocurrencias.

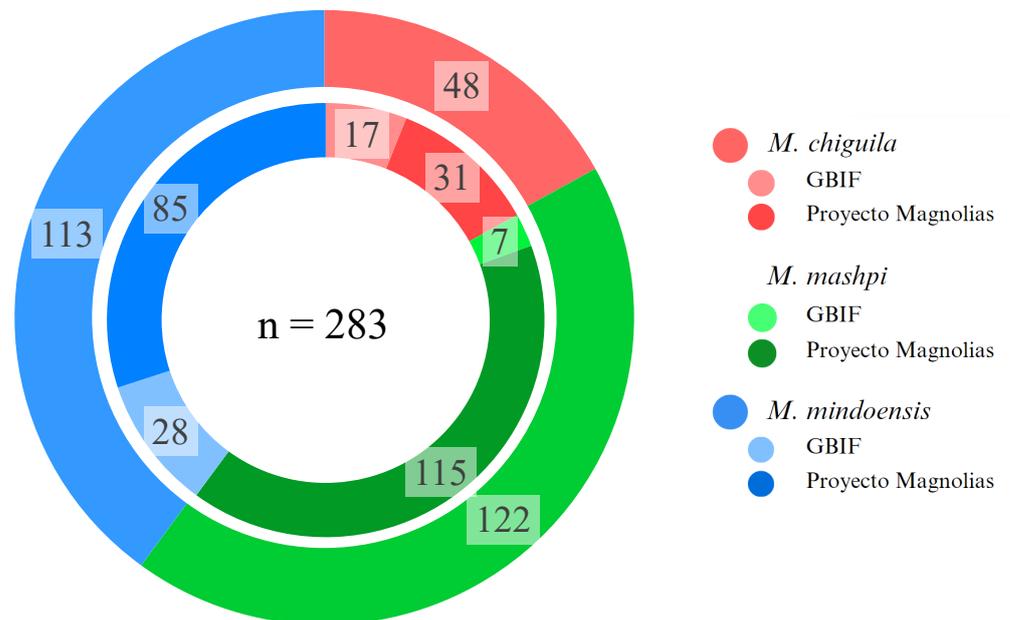


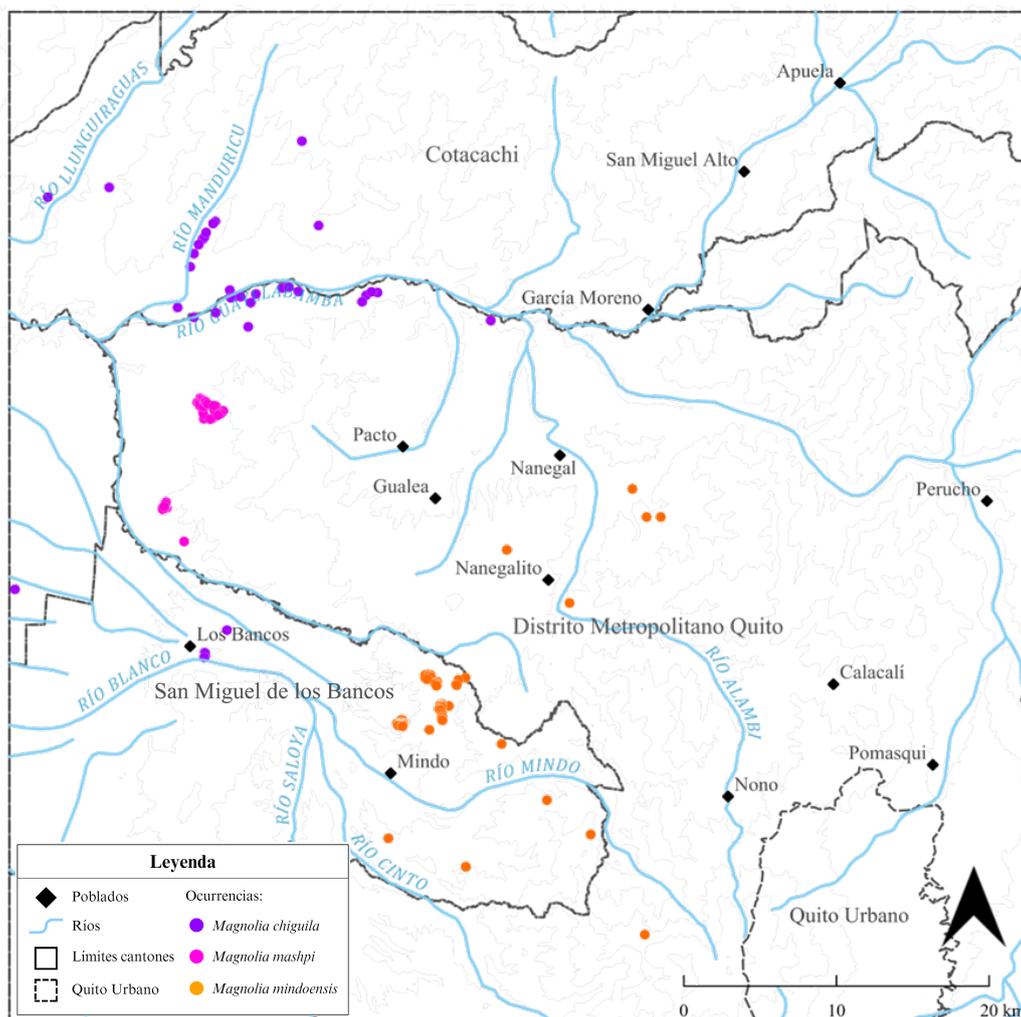
Figura 2 - Cantidad y origen de los datos utilizados en el estudio

El proyecto Magnolias, recordando, uno de sus objetivos principales es conocer y proteger las poblaciones de las especies del género *Magnolia*, incluyendo la participación de la comunidad, se tomarón los datos mediante salidas de las personas pertenecientes al proyecto, las cuales previamente participaron en talleres para el reconocimiento y la identificación de estas especies. Resultando en las ubicaciones georeferenciadas de individuos y poblaciones de estos árboles, estos datos se los tuvo que depurar los datos incompletos o no congruentes, para obtener las 231 ocurrencias.

En cambio los datos obtenidos apartir de la información en las ocurrencias de GBIF de diferentes bases de datos, de los cuales toco revisar y depurar al encontrar no congruentes. Para *M. chiguila* se obtuvieron 17 ocurrencias (GBIF.org, 2024a, 2024b, 2024c). De la misma manera, para *Magnolia mashpi* solo se pudieron obtener siete ocurrencias nuevas (GBIF.org, 2024d). A diferencia de las otras dos especies, debido a su mayor rango de distribución, en *Magnolia mindoensis* se encontraron 50 ocurrencias, pero solo se pudieron

emplear 28, ya que no todas pudieron ser utilizadas 22 de estas se encontraban fuera de la zona de estudio e inclusive 13 de estas se localizaban en Colombia (GBIF.org, 2024e).

Para tener un mejor entendimiento y comprensión dentro de estos datos se los localizo dentro de un mapa, representado en la Figura 3, del área de estudio para enfatizar las diferencias donde están ubicadas las distintas especies. Demostrando que en todos los casos el uso de los dos grupos de datos ayudo a ampliar geográficamente los datos de ocurrencia.



(QGIS 3.34.11, 2023)

Figura 3 – Distribución de los datos, para cada una de las tres especies.

Análisis de Datos, MaxEnt

Para poder analizar los datos, se eligió el enfoque estadístico de máxima entropía MaxEnt. MaxEnt genera un mapa de idoneidad del hábitat, el cual asigna a cada celda un valor de probabilidad que indica cuán adecuado es ese lugar para la presencia de la especie en estudio (Phillips et al., 2006). Este valor refleja la probabilidad de que el hábitat cumpla con las condiciones necesarias para la especie, basándose en las variables ambientales proporcionadas al modelo. De esta manera, se identifican áreas de mayor idoneidad (con valores más altos) y zonas menos favorables (con valores más bajos), ofreciendo una visión clara de dónde es más probable que la especie esté presente.

Para poder realizar el MaxEnt requiere emplear variables climáticas, las cuales en este estudio se utilizaron las bases de datos de las 19 variables, como se ve en la Tabla 1, bioclimáticas de WorldClim, que representan aspectos clave del clima que afectan el crecimiento, la distribución y la supervivencia de las especies (Hijmans et al., 2005). Estas variables se derivan de datos climáticos de temperatura y precipitación, y son usadas para captar variaciones estacionales, extremos y factores limitantes que determinan la idoneidad de un hábitat. Las cuales son especialmente útiles en la modelización de la distribución de especies, ya que permiten identificar y comprender mejor las relaciones entre el clima y las especies en diferentes entornos.

Tabla 1 - Nombres de variables bioclimáticas de WorldClim, utilizadas en estudio

#	Variable
BIO1	Temperatura Anual
BIO2	Rango Diurno Medio
BIO3	Isotermalidad
BIO4	Estacionalidad de la Temperatura
BIO5	Temperatura máx. mes más caliente
BIO6	Temperatura min. mes más frío
BIO7	Rango Anual de Temperatura

BIO8	Media de Temperatura trimestre más humedo
BIO9	Media de Temperatura trimestre más seco
BIO10	Media de Temperatura trimestre más caliente
BIO11	Media de Temperatura trimestre más frío
BIO12	Precipitación Anual
BIO13	Precipitación mes más humedo
BIO14	Precipitación mes más seco
BIO15	Estacionalidad de Precipitación
BIO16	Precipitación trimestre más humedo
BIO17	Precipitación trimestre más seco
BIO18	Precipitación trimestre más caliente
BIO19	Precipitación trimestre más frío

Además, este análisis nos proporciona curvas de respuesta y un análisis de la importancia de las variables (Wan et al., 2019). Las curvas de respuesta muestran cómo cada variable ambiental influye en la probabilidad de presencia de la especie, permitiendo visualizar las preferencias de la especie en relación con factores utilizados. Asimismo, el modelo evalúa la contribución de cada variable al resultado final, lo cual es útil para identificar los factores más importantes para la distribución de la especie (Phillips et al., 2006).

Utiliza métricas como el AUC (Área Bajo la Curva) y gráficos de ganancia y regularización para evaluar la calidad del modelo. Un valor de AUC cercano a 1 indica que el modelo tiene un alto nivel de precisión al diferenciar entre sitios de presencia y ausencia (Phillips et al., 2006). Además, los gráficos de ganancia y regularización permiten ajustar los parámetros del modelo para evitar que se adapte demasiado a los datos de entrada o que sea demasiado general. Estos ajustes mejoran la fiabilidad del modelo, permitiendo obtener predicciones más realistas sobre la distribución potencial de la especie.

A pesar de estas ventajas que ofrece el MaxEnt, tiene una desventaja muy grande que puede terminar en un sesgo de muestreo, producido por un muestreo no lo suficientemente amplio de ocurrencias geográficas (Syfert et al., 2013). Para esto se añadieron los datos

georeferenciados encontrados en GBIF.org, para ampliar el muestreo y en lo posible no caer en este sesgo.

RESULTADOS

Los resultados que MaxEnt otorga son: el mapa de calor, la gráfica de Omisión y área predicha, la gráfica de sensibilidad vs 1 – especificidad, los valores de porcentaje de contribución y de la importancia de la permutación para cada una de las 19 variables; estos resultados fueron encontrados para las tres especies del proyecto.

El mapa de calor representa las áreas de probabilidad de presencia de basadas en cada una de estas especies, donde las zonas rojas representa la mayor probabilidad y en azul las que no tienen probabilidad de presencia, estos se les adjuntaron con los límites de los cantones del área de estudio. Para el reporte de los valores de porcentaje de contribución y de la importancia de la permutación en las tablas no se representaron las variables con valores aproximados a cero y los valores mayores a cero pero menores o iguales a tres fueron agrupados.

Mangnolia chiguila

Para *M. chiguila*, se muestra el mapa resultante de MaxEnt, donde las áreas más probables las cuales son dos áreas de gran tamaño al noroccidente (Figura 4). En la figura 5, el gráfico de Omisión y Área Predicha la línea de omisión superó la omisión predicha en valores del umbral acumulativo entre 0 a 10 y 80 a 100; en la gráfica de sensibilidad vs. 1-especificidad el entrenamiento de los datos tubo un valor área bajo la curva (AUC) = 0.957. Como muestra la Tabla 2 el mayor porcentaje de contribución fue para la variable BIO6 = 56.0 % seguido de BIO2 = 18.2 %. La importancia de la Permutación (Tabla 3) la variable con mayor porcentaje fue BIO2 = 73.6 %.

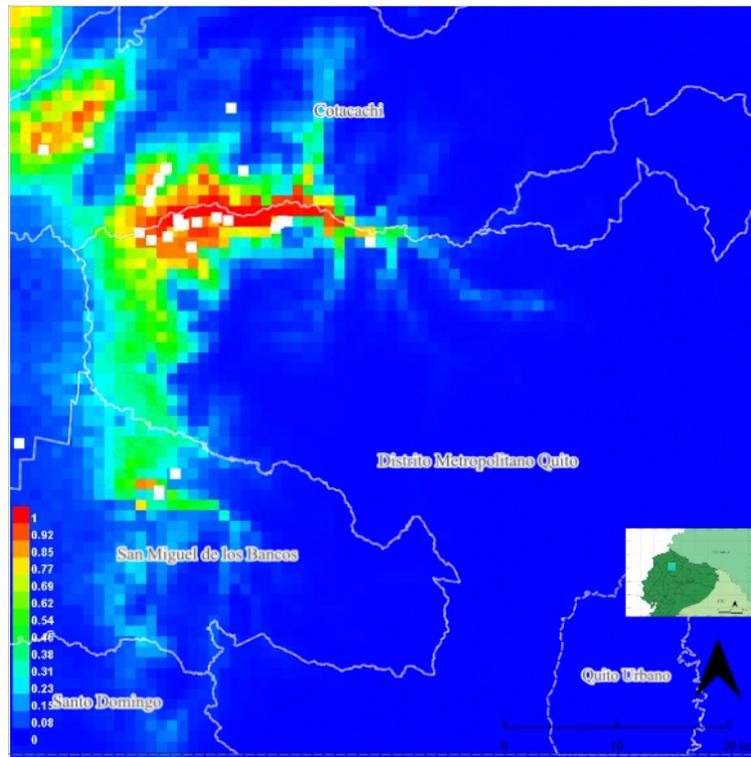


Figura 4 – Resultado MaxEnt, para *M. chiguila*

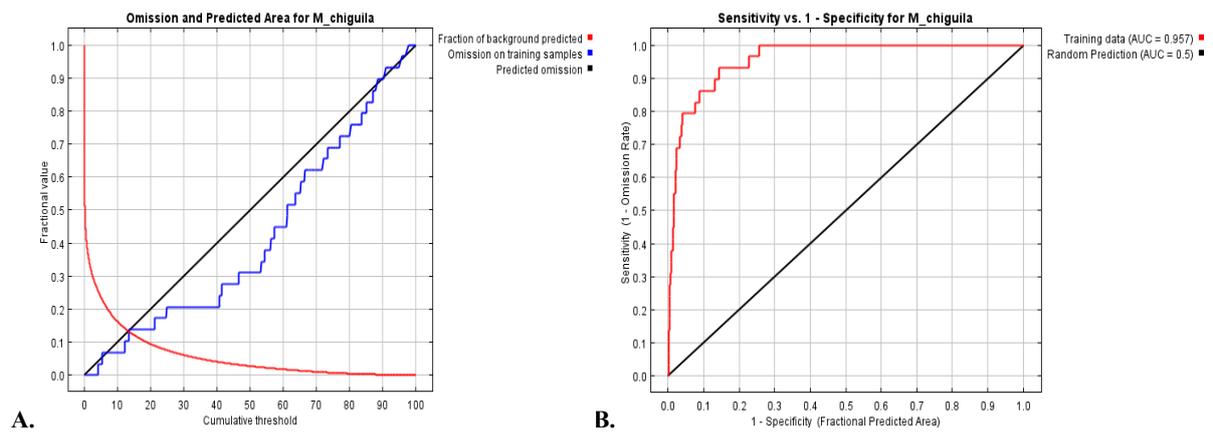


Figura 5 – (A) Gráfico de Omisión y Área Predicha y (B) Gráfico de sensibilidad vs 1 – especificidad, para *M. chiguila*

Tabla 2- Porcentaje de Contribución, *M. chiguila*

#	Variable	Porcentaje de Contribución
BIO2	Rango Diurno Medio	18.2 %
BIO4	Estacionalidad de la Temperatura	11.9 %
BIO6	Temperatura min. mes más frío	56.0 %
BIO11	Media de Temperatura trimestre más frío	3.7 %
BIO14	Precipitación mes más seco	3.8 %
N/A	Variables Sumadas con Porcentajes ≤ 3.0 y > 0	6.3 %

Tabla 3 - Importancia de la Permutación, *M. chiguila*

#	Variable	Importancia de la Permutación
BIO2	Rango Diurno Medio	73.6 %
BIO6	Temperatura min. mes más frío	16.4 %
BIO17	Precipitación trimestre más seco	3.2 %
N/A	Variables Sumadas con Porcentajes ≤ 3.0 y > 0	6.7 %

Magnolia mashpi

De igual manera, para *M. mashpi*, se muestra el mapa resultante de MaxEnt, donde las áreas más probables al occidente de Cotacachi, noroccidente del Distrito Metropolitano de Quito y al norte de San Miguel de los Bancos (Figura 6). En la figura 7, el gráfico de Omisión y Área Predicha la línea de omisión superó la omisión predicha en valores del umbral acumulativo entre 50 a 60 y 80 a 100; en la gráfica de sensibilidad vs. 1-especificidad el entrenamiento de los datos tubo un valor área bajo la curva (AUC) = 0.970. Como muestra la Tabla 4 el mayor porcentaje de contribución fue para la variable BIO6 = 36.1 % seguido de BIO14 = 12.2 %. La importancia de la Permutación (Tabla 5) la variable con mayor porcentaje fue BIO6 = 32.6 y BIO7 = 30.5 %, algo interesante es que no se encontraron variables con porcentajes entre ≤ 3.0 y > 0 .

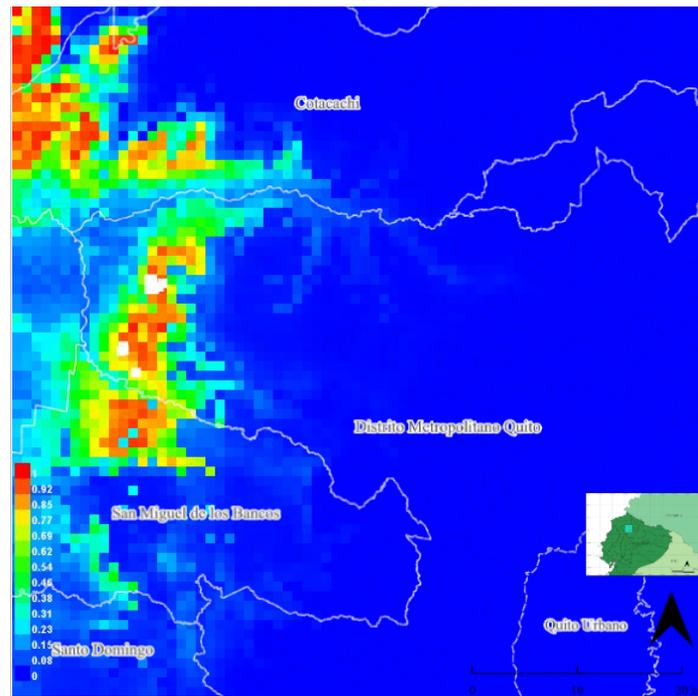


Figura 6 – Resultado MaxEnt, para *M. mashpi*

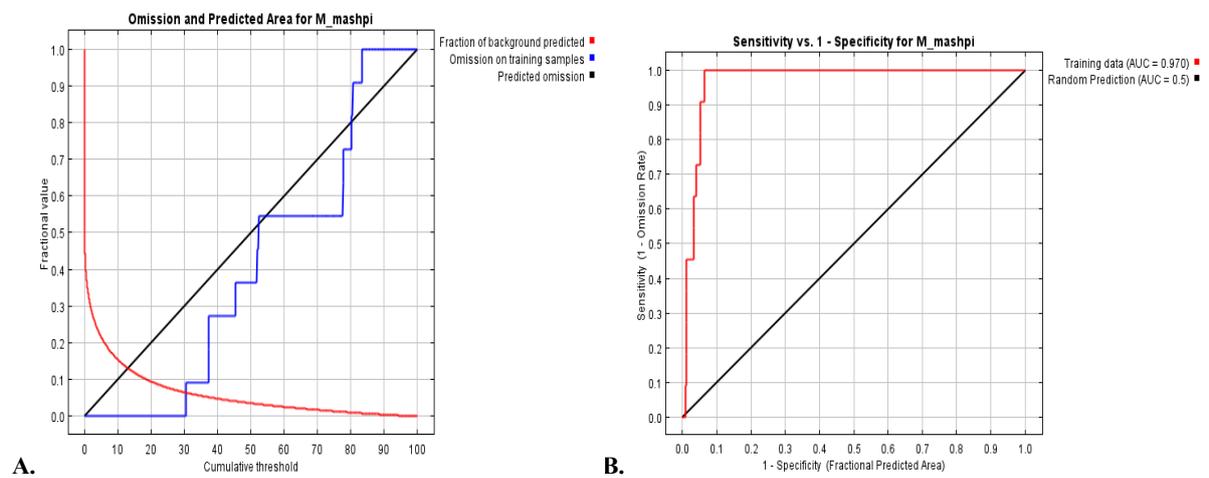


Figura 7 - (A) Gráfico de Omisión y Área Predicha y (B) Gráfico de sensibilidad vs 1 – especificidad, *M. mashpi*

Tabla 4 - Porcentaje de la Contribución, *M. mashpi*

#	Variable	Porcentaje de Contribución
BIO1	Temperatura Anual	4.7 %
BIO2	Rango Diurno Medio	5.0 %
BIO6	Temperatura min. mes más frío	36.1 %
BIO7	Rango Anual de Temperatura	10.5 %
BIO11	Media de Temperatura trimestre más frío	4.2 %
BIO14	Precipitación mes más seco	12.2 %
BIO15	Estacionalidad de Precipitación	5.2 %
BIO17	Precipitación trimestre más seco	11.3 %
BIO19	Precipitación trimestre más frío	4.1 %
N/A	Variables Sumadas con Porcentajes ≤ 3.0 y > 0	6.7 %

Tabla 5 - Importancia de la Permutación, *M. mashpi*

#	Variable	Importancia de la Permutación
BIO2	Rango Diurno Medio	6.7 %
BIO6	Temperatura min. mes más frío	32.6 %
BIO7	Rango Anual de Temperatura	30.5 %
BIO15	Estacionalidad de Precipitación	3.8 %
BIO17	Precipitación trimestre más seco	18.1 %
BIO19	Precipitación trimestre más frío	8.1 %

Magnolia mindoensis

Por último para *M. mindoensis*, se muestra el mapa resultante de MaxEnt, donde las áreas más probables en una franja entre el Distrito Metropolitano de Quito y el cantón San Miguel de los Bancos (Figura 8). En la figura 9, el gráfico de Omisión y Área Predicha la línea de omisión nunca superó la omisión predicha; en la gráfica de sensibilidad vs. 1-especificidad el entrenamiento de los datos tubo un valor área bajo la curva (AUC) = 0.955. Como muestra la Tabla 6 el mayor porcentaje de contribución fue para la variable BIO17 = 51.5 % seguido de BIO2 = 26.1 %. La importancia de la Permutación (Tabla 7) la variable con mayor porcentaje fue BIO2 = 41.8 %, seguida de BIO17 = 21.8 %.

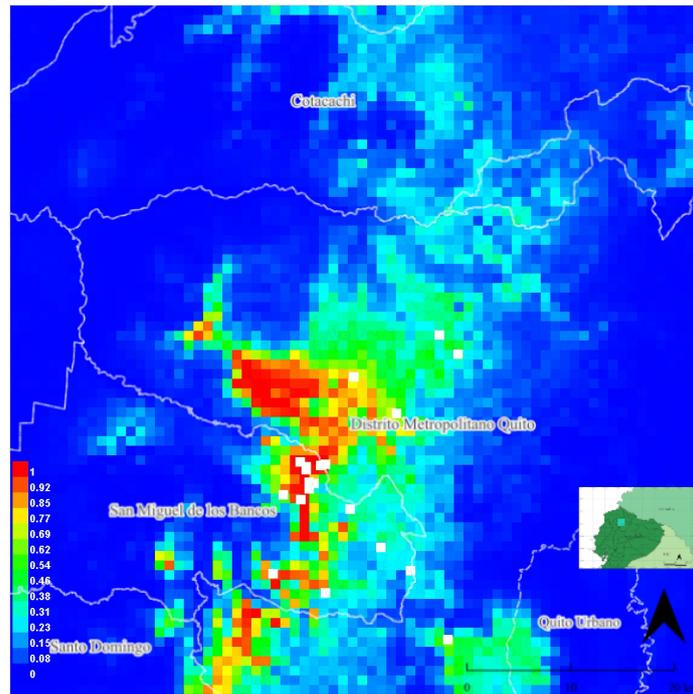


Figura 8 - Resultado MaxEnt, para *M. mindoensis*

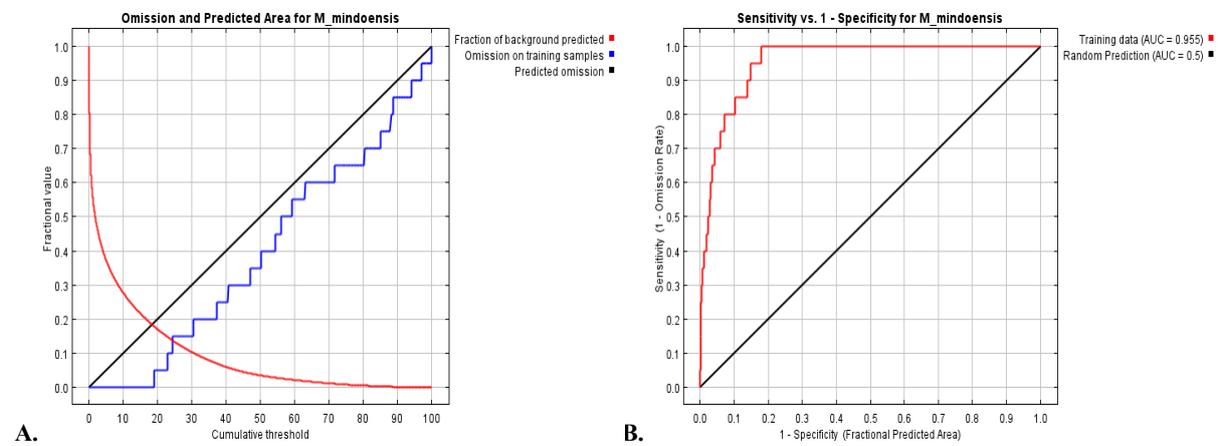


Figura 9 - (A) Gráfico de Omisión y Área Predicha y (B) Gráfico de sensibilidad vs 1 – especificidad, *M. mindoensis*

Tabla 6- Porcentaje de la Contribución, M. mindoensis

#	Variable	Porcentaje de Contribución
BIO2	Rango Diurno Medio	26.1 %
BIO4	Estacionalidad de la Temperatura	7.9 %
BIO6	Temperatura min. mes más frío	6.8 %
BIO16	Precipitación trimestre más húmedo	4.7 %
BIO17	Temperatura Media del Trimestre Más Húmedo	51.5 %
N/A	Variables Sumadas con Porcentajes ≤ 3.0 y > 0	2.9 %

Tabla 7- Importancia de Permutación, M. mindoensis

#	Variable	Importancia de la Permutación
BIO2	Rango Diurno Medio	41.8 %
BIO4	Estacionalidad de la Temperatura	17.0 %
BIO15	Estacionalidad de Precipitación	5.8 %
BIO17	Precipitación trimestre más seco	21.8 %
BIO19	Precipitación trimestre más frío	12.3 %
N/A	Variables Sumadas con Porcentajes ≤ 3.0 y > 0	1.4 %

DISCUSIÓN

Los resultados obtenidos para las tres especies de *Magnolia* en el Chocó Andino destacan patrones importantes en su distribución y factores ambientales que determinan su presencia. A continuación, se discuten los hallazgos clave para cada especie:

Magnolia chiguila

El alto valor del área bajo la curva (AUC = 0.957) en la gráfica de sensibilidad vs. 1-especificidad resalta la capacidad del modelo para discriminar entre áreas adecuadas y no adecuadas. Sin embargo, las discrepancias entre la línea de omisión y el área predicha en los umbrales acumulativos de 0-10 y 80-100 sugieren posibles ajustes necesarios en la calibración del modelo. La variable de mayor contribución fue la Temperatura mínima del mes más frío (BIO6) con un 56.0 %, mientras que el Rango Diurno Medio (BIO2) fue la variable más importante según la permutación, con un 73.6 %. Esto evidencia que los factores relacionados con la variabilidad térmica son determinantes clave para la distribución de esta especie.

La expansión de la distribución altitudinal de *M. chiguila* (de 700-1200 msnm a 500-1780 msnm (Pérez et al., 2016), indica una posible adaptabilidad a un rango altitudinal más amplio del que se tenía previamente registrado. Asimismo, la identificación de nuevas cuencas, como las de los ríos Llunguiragua, Mandiricu y Blanco, además del Guayllabamba, amplía significativamente las áreas probables de distribución.

Finalmente, se identificaron áreas probables en la cuenca del río Pachijal, lo que ofrece oportunidades para explorar nuevas poblaciones y priorizar esfuerzos de conservación en estas zonas.

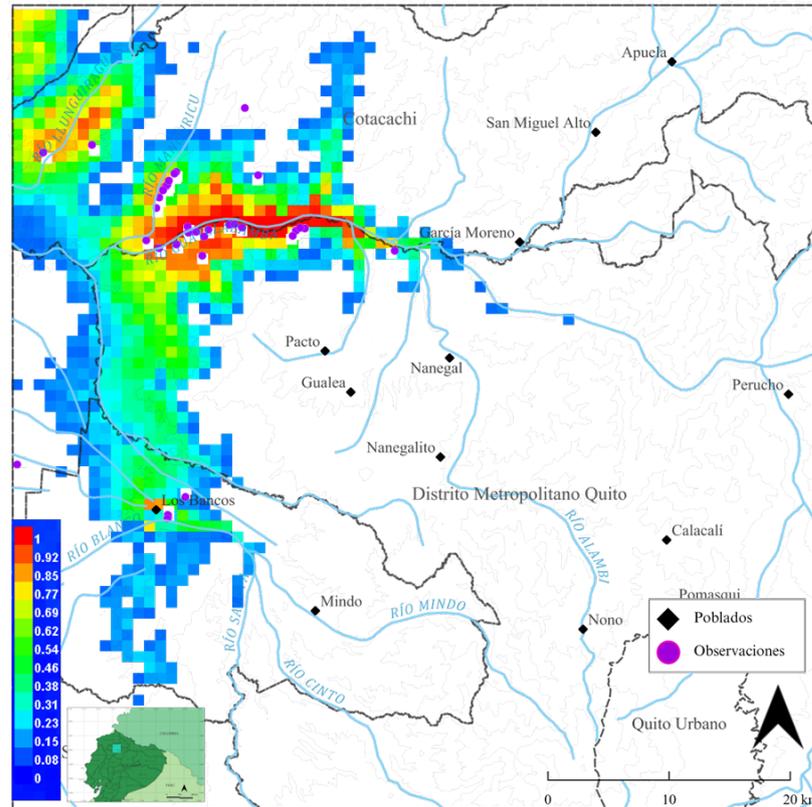


Figura 10 - Áreas Probables, *M. chiguila*

Magnolia mashpi

El modelo presentó un excelente desempeño ($AUC = 0.970$), pero también mostró inconsistencias en la gráfica de omisión y área predicha en los umbrales acumulativos de 50-60 y 80-100. La Temperatura mínima del mes más frío (BIO6) fue la variable más significativa (36.1 %), seguida de la Precipitación del mes más seco (BIO14) (12.2 %). En

términos de importancia por permutación, BIO6 y el Rango Anual de Temperatura (BIO7) (30.5 %) destacaron.

Para *M. mashpi*, la distribución altitudinal ajustada (de 800-1000 msnm a 730-1000 msnm (Pérez et al., 2016), muestra una ampliación en el rango conocido, pero los registros fuera de Mashpi amplían la perspectiva sobre su distribución geográfica.

Se identificaron áreas probables en los alrededores de Los Bancos y en zonas altas de los ríos Llunguiragua y Manduricu, lo que abre la posibilidad de identificar nuevas poblaciones en lugares previamente no explorados.

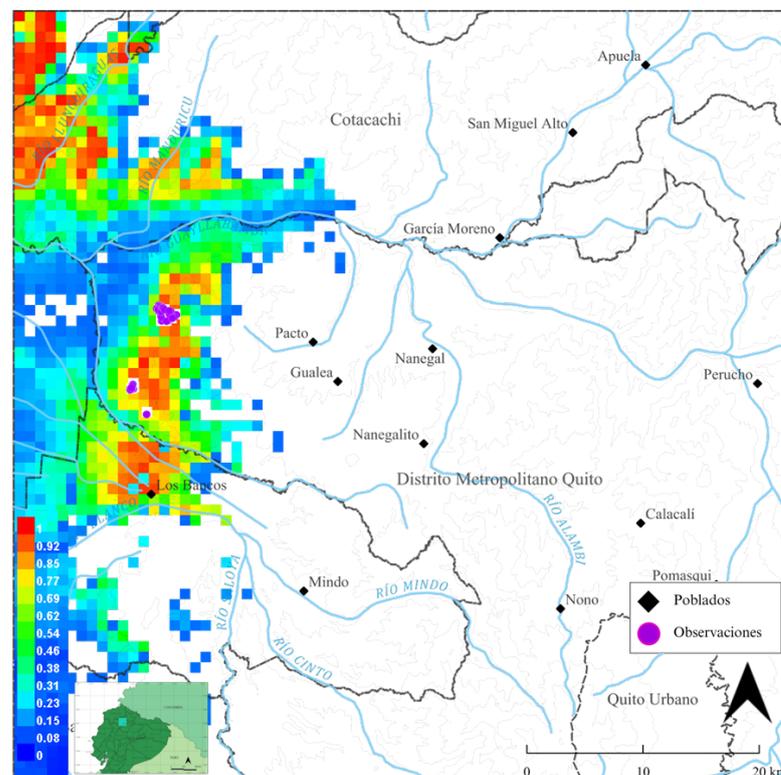


Figura 11 - Áreas probables, *M. mashpi*

Magnolia mindoensis

Asimismo, el modelo presentó un AUC de 0.955, lo que evidencia un alto nivel de precisión. A diferencia de las otras especies, la gráfica de omisión y área predicha no mostró superposición, lo que indica una mejor correspondencia entre el modelo y los datos

observados. Las variables más influyentes fueron la Precipitación del trimestre más seco (BIO17) (51.5 %) y el Rango Diurno Medio (BIO2) (26.1 %). Por permutación, BIO2 y BIO17 también lideraron, lo que sugiere que tanto la disponibilidad hídrica como la variabilidad térmica son factores críticos para la distribución de esta especie.

M. mindoensis mostró una expansión considerable en su rango altitudinal (de 1150-2000 msnm a 1150-3700 msnm (Vázquez-García et al., 2016). Esto podría atribuirse a la capacidad de esta especie para adaptarse a condiciones climáticas más variables, particularmente en mayores altitudes.

Las áreas probables identificadas incluyen el sur de Gulea, el norte del río Pachijal, el sur de Mindo y Nanegal, principalmente en zonas de mayor altitud, lo que puede orientar futuros esfuerzos de muestreo en estas regiones.

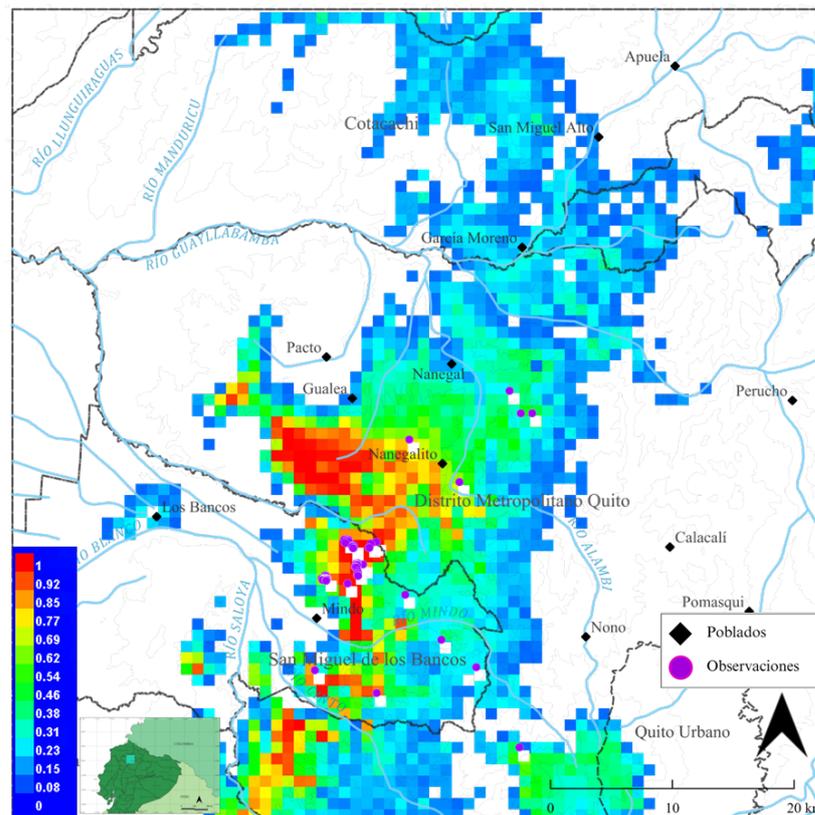


Figura 12 - Áreas Probable, *M. mindoensis*

Consideraciones generales

Estos resultados reflejan que las tres especies responden de manera diferenciada a factores climáticos, lo que resalta la importancia de enfoques específicos para su conservación. Las áreas probables identificadas deben ser prioritarias para muestreos de campo que validen la presencia de estas especies y permitan ajustar los modelos. Además, la exploración en zonas no marcadas como probables podría proporcionar información valiosa sobre los límites de distribución y factores limitantes.

Algo curioso de notar es que para *M. chiguila* y *M. mashpi* es que estas tienen rangos probables muy parecidos pero separadas a distintas alturas, en zonas bajas para cercanas a ríos para *M. chiguila* y para zonas altas *M. mashpi*. Esto es fácil de observar en los alrededores de los ríos Lunguiraguas, Pachijal, Guayllabamba y Manduricu (Figura 13). Esto posiblemente indicando que estas especies pudieran ser producto de parapatía, ya que estas están cercanamente emparentadas aunque este sea sin respaldo genético (Pérez Castañeda, 2015).

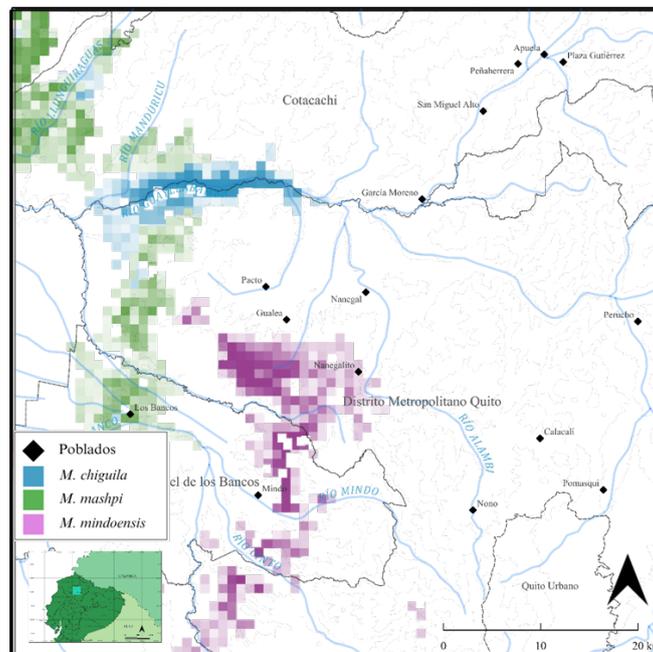


Figura 13 - Mapa con áreas probables de distribución con mayor al 50%, para *Magnolia chiguila*, *Magnolia mashpi* y *Magnolia mindoensis*

Finalmente, la alta precisión de los modelos, con AUC superiores a 0.95, respalda la confiabilidad de los resultados, aunque los ajustes en los umbrales de predicción podrían mejorar su aplicación práctica. Estos hallazgos constituyen una base sólida para priorizar esfuerzos de conservación, investigación y manejo en el Chocó Andino, reforzando el conocimiento sobre estas especies endémicas y su entorno.

CONCLUSIONES

Una parte esencial para la conservación es la investigación, ya que para proteger una especie es indispensable conocer su distribución y ubicación. Este proyecto de titulación contribuye significativamente a ese conocimiento al identificar las áreas probables donde podrían encontrarse las tres especies de *Magnolia* presentes en el noroccidente del Chocó Andino. Esta información es de gran utilidad para orientar esfuerzos de muestreo en la búsqueda de nuevas poblaciones, priorizar áreas clave para la conservación, identificar lugares de fácil acceso para facilitar futuras investigaciones y determinar zonas donde los programas de reintroducción podrían ser viables.

Se recomienda realizar salidas de campo en las áreas identificadas como probables para confirmar la presencia de estas especies. Asimismo, sería valioso explorar las zonas marcadas como no probables para verificar la ausencia de poblaciones y comprender las posibles razones de su exclusión, lo que permitirá mejorar y complementar los datos existentes. Además, se sugiere llevar a cabo investigaciones más exhaustivas en los rangos de distribución de *M. mindoensis*, explorando no solo el resto del Chocó Andino en Pichincha, sino también en otras provincias donde la literatura indica que podría estar presente.

Como pasos futuros, además de las exploraciones de campo mencionadas, sería importante profundizar en el estudio de otros aspectos biológicos y ecológicos de estas especies. Esto permitiría, a largo plazo, una reevaluación más precisa de su estado de amenaza, considerando una base de datos más sólida sobre su distribución y ocurrencia.

Finalmente, cabe destacar el rol fundamental de las personas locales voluntarias dentro de los rangos de distribución de estas especies. Su interés y participación activa en este proyecto subrayan la importancia de integrarlas en las estrategias de conservación, fortaleciendo un enfoque colaborativo, dentro y fuera de la comunidad científica.

REFERENCIAS

- Blangy, S., & Mehta, H. (2006). Ecotourism and ecological restoration. *Journal for Nature Conservation*, 14(3), 233–236. <https://doi.org/10.1016/j.jnc.2006.05.009>
- GBIF.org. (2024a). *Magnolia chiguila*, *iNaturalist Research-grade Observations*, GBIF Occurrence [Dataset]. <https://doi.org/10.15468/dl.spjubp>
- GBIF.org. (2024b). *Magnolia chiguila*, *Tropicos MO Specimen Data*, GBIF Occurrence [Dataset]. <https://doi.org/10.15468/dl.5ghtxp>
- GBIF.org. (2024c). *Magnolia chiguila*. *Tropicos Specimens Non-MO*, GBIF Occurrence [Dataset]. <https://doi.org/10.15468/dl.2pv5s3>
- GBIF.org. (2024d). *Magnolia mashpi*, *Tropicos Specimens Non-MO*, GBIF Occurrence [Dataset]. <https://doi.org/10.15468/dl.habrbs>
- GBIF.org. (2024e). *Magnolia mindoensis* GBIF Occurrence [Dataset]. <https://doi.org/10.15468/dl.66wzh9>
- Hijmans, R. J., Cameron, S. E., Parra, J. L., Jones, P. G., & Jarvis, A. (2005). Very high resolution interpolated climate surfaces for global land areas. *International Journal of Climatology*, 25(15), 1965–1978. <https://doi.org/10.1002/joc.1276>
- Ocaña Zambrano, W., Carrillo Flores, R., & Luzuriaga, P. (2021). Hacia un Turismo Sostenible, Consciente y Regenerativo en la Reserva de la Biosfera del chocó Andino de Pichincha / Rumo ao turismo sustentável, consciente e regenerativo na Reserva da Biosfera de Chocó Andino de Pichincha / Towards a sustainable, conscious, and regenerative tourism in the Chocó Andino de Pichincha Biosphere Reserve. *PRACS Revista Eletrônica de Humanidades Do Curso de Ciências Sociais Da UNIFAP*, 14, 71–92.

- Pérez, Á. J., Arroyo, F., Neill, D. A., & Vázquez-García, J. A. (2016). *Magnolia chiguila* and *M. mashpi* (Magnoliaceae): Two new species and a new subsection (Chocotalauma, sect. Talauma) from the Chocó biogeographic region of Colombia and Ecuador. *Phytotaxa*, 286(4), Article 4. <https://doi.org/10.11646/phytotaxa.286.4.5>
- Pérez Castañeda, Á. J. (2015). *Taxonomía y conservación de la familia Magnoliaceae en el Ecuador* [PUCE]. <https://repositorio.puce.edu.ec/handle/123456789/21055>
- Pérez Castañeda, Á. J., & Allen, J. (2020). IUCN Red List of Threatened Species: *Magnolia mashpi*. *IUCN Red List of Threatened Species*. <https://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2021-2.RLTS.T124251868A124251933.en>
- Pérez Castañeda, Á. J., Crowley, D., & Allen, J. (2020). IUCN Red List of Threatened Species: *Magnolia chiguila*. *IUCN Red List of Threatened Species*. <https://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2021-2.RLTS.T124251479A124251537.en>
- Phillips, S. J., Anderson, R. P., & Schapire, R. E. (2006). Maximum entropy modeling of species geographic distributions. *Ecological Modelling*, 190(3), 231–259. <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2005.03.026>
- Pujota Pinango, J. J. (2020). *Evaluación de la sostenibilidad de los sistemas productivos en la Reserva de Biosfera Chocó Andino*. [bachelorThesis, Universidad Estatal Amazónica]. <https://repositorio.uea.edu.ec/handle/123456789/846>
- QGIS 3.34.11. (2023). *QGIS Geographic Information System (Version 3.34.11)*. Open Source Geospatial Foundation.
- Rivers, M. C. (2018). IUCN Red List of Threatened Species: *Magnolia mindoensis*. *IUCN Red List of Threatened Species*. <https://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2018-1.RLTS.T112185191A112185866.en>

- Syfert, M. M., Smith, M. J., & Coomes, D. A. (2013). The Effects of Sampling Bias and Model Complexity on the Predictive Performance of MaxEnt Species Distribution Models. *PLOS ONE*, 8(2), e55158. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0055158>
- Vázquez-García, J. A., Neill, D. A., Asanza, M., Pérez, Á. J., Arroyo, F., Dahua Machoa, A., & Merino-Santi, R. E. (2015). *Magnolias de Ecuador en riesgo de extinción*. Universidad Estatal Amazónica.
<https://auburn.app.box.com/s/tzfmvww5idxlsnfpantsdggqzrfhj9dq/file/1439689039017>
- Vázquez-García, J., Neill, D., Azanza, M., Pérez, Á., Dahua-Machoa, A., Merino-Santi, R., Delgado Chaves, F., & Urbano Apraez, S. (2016). *Magnolia mindoensis* (subsect. Talauma, Magnoliaceae): Una especie nueva del Chocó biogeográfico premontano en Colombia y Ecuador. *Brittonia*, 69, XX–XX. <https://doi.org/10.1007/s12228-016-9449-x>
- Wan, J.-Z., Wang, C.-J., & Yu, F.-H. (2019). Effects of occurrence record number, environmental variable number, and spatial scales on MaxEnt distribution modelling for invasive plants. *Biologia*, 74(7), 757–766. <https://doi.org/10.2478/s11756-019-00215-0>

ANEXO A: TABLA PORCENTAJES DE CONTRIBUCIÓN PARA LAS ESPECIES

Variable	Nombre de Variable	Especie		
		<i>M. chiguila</i>	<i>M. mashpi</i>	<i>M. mindoensis</i>
ASC.wc2.1_30s_bio_01	Temperatura Anual	0	4.7	0
ASC.wc2.1_30s_bio_02	Rango Diurno Medio (Media temperatura mensual (temp máx-temp min))	18.2	5	26.1
ASC.wc2.1_30s_bio_03	Isotermalidad ((BIO2/BIO7) (*100))	0.2	0	0.4
ASC.wc2.1_30s_bio_04	Estacionalidad de la Temperatura (Desviación *100)	11.9	1.8	7.9
ASC.wc2.1_30s_bio_05	Temperatura máx. mes más caliente	0	0	0
ASC.wc2.1_30s_bio_06	Temperatura mín. mes más frío	56	36.1	6.8
ASC.wc2.1_30s_bio_07	Rango Anual de Temperatura (BIO5-BIO6)	0.4	10.5	0.7
ASC.wc2.1_30s_bio_08	Media de Temperatura trimestre más húmedo	0	3	0
ASC.wc2.1_30s_bio_09	Media de Temperatura trimestre más seco	1.9	1.9	0
ASC.wc2.1_30s_bio_10	Media de Temperatura trimestre más caliente	2.1	0	0
ASC.wc2.1_30s_bio_11	Media de Temperatura trimestre más frío	3.7	4.2	0
ASC.wc2.1_30s_bio_12	Precipitación Anual	0.4	0	0
ASC.wc2.1_30s_bio_13	Precipitación mes más húmedo	0.2	0	0
ASC.wc2.1_30s_bio_14	Precipitación mes más seco	3.8	12.2	0.2
ASC.wc2.1_30s_bio_15	Estacionalidad de Precipitación (Coeficiente de Variación)	0.2	5.2	0.4
ASC.wc2.1_30s_bio_16	Precipitación trimestre más húmedo	0	0	4.7
ASC.wc2.1_30s_bio_17	Precipitación trimestre más seco	0.9	11.3	51.5
ASC.wc2.1_30s_bio_18	Precipitación trimestre más caliente	0	0	0.2
ASC.wc2.1_30s_bio_19	Precipitación trimestre más frío	0	4.1	1

	Porcentaje = 0
	Porcentaje ≤ 3.0
	Porcentaje > 10

ANEXO B: TABLA DE IMPORTANCIA DE PERMUTACIÓN PARA LAS ESPECIES

Variable	Nombre de Variable	Especie		
		<i>M. chiguila</i>	<i>M. mashpi</i>	<i>M. mindoensis</i>
ASC.wc2.1_30s_bio_01	Temperatura Anual	0	0	0
ASC.wc2.1_30s_bio_02	Rango Diurno Medio (Media temperatura mensual (temp máx-temp min))	73.6	6.7	41.8
ASC.wc2.1_30s_bio_03	Isotermalidad ((BIO2/BIO7) (*100))	0.2	0	0
ASC.wc2.1_30s_bio_04	Estacionalidad de la Temperatura (Desviación *100)	1.9	0	17
ASC.wc2.1_30s_bio_05	Temperatura máx. mes más caliente	0	0	0
ASC.wc2.1_30s_bio_06	Temperatura mín. mes más frío	16.4	32.6	1.2
ASC.wc2.1_30s_bio_07	Rango Anual de Temperatura (BIO5-BIO6)	0	30.5	0.2
ASC.wc2.1_30s_bio_08	Media de Temperatura trimestre más húmedo	0	0	0
ASC.wc2.1_30s_bio_09	Media de Temperatura trimestre más seco	0	0	0
ASC.wc2.1_30s_bio_10	Media de Temperatura trimestre más caliente	0	0	0
ASC.wc2.1_30s_bio_11	Media de Temperatura trimestre más frío	0	0	0
ASC.wc2.1_30s_bio_12	Precipitación Anual	0.1	0	0
ASC.wc2.1_30s_bio_13	Precipitación mes más húmedo	3	0	0
ASC.wc2.1_30s_bio_14	Precipitación mes más seco	0	0	0
ASC.wc2.1_30s_bio_15	Estacionalidad de Precipitación (Coeficiente de Variación)	1.5	3.8	5.8
ASC.wc2.1_30s_bio_16	Precipitación trimestre más húmedo	0	0	0
ASC.wc2.1_30s_bio_17	Precipitación trimestre más seco	3.2	18.1	21.8
ASC.wc2.1_30s_bio_18	Precipitación trimestre más caliente	0	0	0
ASC.wc2.1_30s_bio_19	Precipitación trimestre más frío	0	8.1	12.3

	Porcentaje = 0
	Porcentaje ≤ 3.0
	Porcentaje > 10