MODELO DE DISTRIBUCIÓN DE LA ESPECIE
Escallonia myrtilloides L.f

SARA GABRIELA RUEDA FRANCO

UNIVERSIDAD DISTRITAL FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS
FACULTAD DE CIENCIAS Y EDUCACIÓN
PROYECTO CURRICULAR LICENCIATURA EN BIOLOGÍA
BOGOTÁ, COLOMBIA
2019

MODELO DE DISTRIBUCIÓN DE LA ESPECIE
Escallonia myrtilloides L.f

SARA GABRIELA RUEDA FRANCO

Trabajo de grado en Modalidad de Pasantía para optar al título de
Licenciada en Biología

Directora
Ph.D Nelly Janneth Ruiz Pacheco

Codirector:
Msc. Francisco Fajardo Gutiérrez

Línea de Investigación:
Botánica- Distribución geográfica de especies altoandinas.

Universidad Distrital Francisco José de Caldas
Proyecto Curricular Licenciatura en Biología
Bogotá Colombia
2019

La Universidad no será responsable de las ideas expuestas por los graduandos en el Trabajo de Grado, según el artículo 117 acuerdo 029, Consejo Superior de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas expedido en Junio de 1988.

Nota de aceptación

_____
_____
_____
_____
_____
_____

_____
Firma del presidente del jurado

_____
Firma del jurado

_____
Firma del jurado

Bogotá. D.C., _____ de_____ 2019

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo fue desarrollado dentro de las instalaciones del Jardín Botánico José Celestino Mutis, donde pude hacer uso de sus instalaciones específicamente en el área del Herbario, con las colecciones botánicas y el uso de información bibliográfica. Agradezco a todos los profesionales del herbario por contribuir a mi formación y especialmente a mi codirector Francisco Fajardo Gutiérrez, quien fue investigador de la línea Flora de Bogotá y estuvo siempre de principio a fin en todo mi proceso, aportando sus conocimientos y haciendo de esta labor una experiencia enriquecedora a nivel académico y personal. Agradezco a mi directora, la docente Nelly Ruiz Pacheco, quien me guio en todos los procesos administrativos relacionados con la vinculación al Jardín y su apoyo fue constante ante cualquier dificultad. Agradezco a la Universidad Distrital Francisco José de Caldas por darme las herramientas para desenvolverme en el área de la Biología y a mi familia por ser testigos y fieles compañeros de mi proceso académico, sin ellos no hubiera sido posible.

Contenido

1. INTRODUCCIÓN 8

2. PLANTEAMIENTO 9

2.1 JUSTIFICACIÓN 9

2.2 DELIMITACIÓN DEL PROBLEMA 10

2.3 OBJETIVOS 10

2.3.1 Objetivo general 10

2.3.2 Objetivos específicos 10

2.4 REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA 10

3. METODOLOGÍA 14

3.1 ÁREA DE ESTUDIO: 14

3.2 RECURSOS FÍSICOS Y PROCEDIMIENTO 14

3.2.1 Recopilación de la información 14

3.2.2 Variables ambientales 15

3.2.3. Modelado de Nicho ecológico 17

3.2.4 Generación de Mapas 18

3.3 RECURSOS HUMANOS 18

4. RESULTADOS Y ANÁLISIS 18

4.1 Puntos de ocurrencia y distribución 18

4.2 Modelamiento 23

4.2.1 Umbral de corte 23

4.2.2 Análisis de Jackknife 24

4.2.3 Evaluación del modelo 26

4.3 Problemáticas actuales de los bosques montanos de los andes tropicales, ecosistema predominante de *E. myrtilloides* y áreas para su conservación. 29

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES 32

6. REFERENCIAS 33

Ilustraciones

Figuras

Figura 1. Matriz de confusión. Adaptada en base a la matriz de Fawcett, T. (2006) en la evaluación de modelos de clasificación. **12**
Figura 2. Variables bioclimáticas y ambientales utilizadas para conocer la distribución geográfica de E. myrtilloides. Tomado de www.worldclim.org. y adaptado por Hernández et al., (2016). **16**
Figura 3. Mapa binario que muestra las zonas de ausencia y presencia para E. myrtilloides. **19**
Figura 4.Distribución de los registros de E. myrtilloides analizados desde Costa Rica a Bolivia. **20**
Figura 5. Error por comisión en el área potencial de Bolivia. Laguna Titicaca **23**
Figura 6.Umbral de corte y tasas de omisión correspondiente. **24**
Figura 7.Estimaciones de las contribuciones relativas e importancia de permutación para las 20 variables utilizadas al modelo **25**
Figura 8.Análisis de contribución de variables para los datos de entrenamiento **25**
Figura 9.Análisis de contribución de variables para los datos de prueba **26**
Figura 10.Análisis de contribución de variables para los datos de prueba aplicando AUC. **26**
Figura 11.Estimaciones de las contribuciones relativas e importancia de permutación para las 20 variables utilizadas al modelo **26**
Figura 12.Mapa de Parques Nacionales Naturales y área potencial de E. myrtilloides **31**

Gráficos

Gráfico 1.Altitudes registradas según los datos de presencia de E. myrtilloides. **21**
Gráfico 2. Área potencial de E. myrtilloides **22**
Gráfico 3. Comportamiento de la omisión y el área pronosticada en función del umbral acumulado. **27**
Gráfico 4.La curva característica de funcionamiento del receptor (ROC). **28**

Tabla

Tabla 1. Valores de los puntos de presencia de E. myrtilloides para cada uno de los países analizados y sus respectivos porcentajes en la contribución de presencias para el modelo. **18**
Tabla 2 Área potencial total dentro del SPNN **30**

1. INTRODUCCIÓN

A través del tiempo, las actividades antropogénicas han ocasionado cambios sin precedentes y en muchas ocasiones irreparables en los ecosistemas de todo el planeta, afectando la distribución de la fauna y la flora desde la dispersión de especies exóticas, hasta el descenso y desaparición de las poblaciones nativas. Esto ha generado un impacto en la historia biológica del planeta, y en ocasiones grandes problemas ecológicos (Villaseñor y Magaña, 2006).

Una de estas actividades es la tala indiscriminada de bosques que aportan a la sostenibilidad biológica, alterando la temperatura global del planeta y acelerando el cambio climático. A su vez, los cambios en el clima podrían incidir directamente en la fenología y abundancia de las especies, en sus patrones de distribución geográfica y en la composición de la comunidad o declives poblacionales (Araújo & Guisan, 2006; Gibbon *et al.,* 2008; Ihlow *et al.,* 2012).

Una de las zonas más vulneradas han sido los Andes tropicales, ecosistemas destacados por su biodiversidad y endemismo excepcionales, resultado de una larga historia evolutiva, orográfica y climática. Las modificaciones de los suelos han alterado ecosistemas y regímenes hidrológicos, haciendo que esta zona sea altamente vulnerable al cambio climático. La comprensión de dicha vulnerabilidad es limitada debido a la falta de colaboración de las ciencias climáticas y biológicas y a su vez, el conocimiento de diversidad, distribución y dependencia de los ambientes andinos es incompleto. Los modelos que representan incrementos en la temperatura de los Andes, superan a los de las tierras bajas circundantes, sin embargo, los datos globales sobre los que se basan estos estudios son poco fiables a lo largo de la cordillera. Aun así, no dejan en duda que estos ecosistemas se verán gravemente afectados, alterando la respuesta de las especies: ya sea a nivel adaptativo tolerando altos rangos de temperatura, o haciendo evidente su incapacidad para adaptarse dando como resultado su desaparición. (Herzog *et al.,* 2012). En este orden de ideas, el cambio climático es uno de los retos más importantes a los que debe enfrentar la humanidad en el siglo XXLL y por ende es un asunto que merece mayor atención desde todos los puntos de la política científica y ambiental.

Por esta razón es importante llevar a cabo investigaciones que aporten a desarrollar planes de manejo y conservación de especies de flora y que contribuyan a predecir futuros escenarios de cambio climático. La distribución de especies es uno de los insumos básicos para desarrollar dichos planes, siendo la base sobre la cual se estructuran estudios avanzados en diferentes campos. Según Brown *et al.,* (1996) la distribución geográfica de una especie es una expresión compleja de su ecología e historia evolutiva y, debido a esto, su conocimiento detallado es fundamental para la investigación en ecología, biogeografía, taxonomía y biología de la conservación. Debido a ello, el uso de modelos de distribución geográfica se ha incrementado en los últimos años (Peterson, 2006; Merow *et al.,* 2013) y es la base de este proyecto.

El modelamiento de la distribución potencial nos permite entender cómo se da la relación de una especie con variables ambientales y cuáles son sus requerimientos ecológicos para proyectar su distribución potencial (Guisan y Zimmermann, 2000; Elith *et al.,* 2006). Con tal información, es posible evaluar el efecto que podría tener algún cambio en el ambiente sobre dicha distribución (Pearson & Dawson, 2003). Para este método, se combinan datos de variables ambientales con localidades georreferenciadas de las especies donde ha sido confirmada su presencia. A partir de estos dos factores, se busca crear un modelo de requerimientos de acuerdo a las variables examinadas (Anderson *et al.,* 2003). El modelo resultante se puede proyectar en el ambiente como un mapa de la región de estudio que muestra la distribución potencial de la especie estudiada permitiendo evaluar entre otros aspectos, áreas de conservación en donde se pueda encontrar a futuro. Estos modelos son desarrollados utilizando diversos programas y algoritmos como el de MaxEnt 3.3.3k, que estima la distribución de puntos de ocurrencia en un área de estudio mediante un conjunto se selecciones limitantes (variables ambientales) que determinan la elección de un

evento (Beauvais *et al.*, 2006), representado en forma de mapas por un software (QGIS ò ArcGIS, en este caso), que posee un Sistema de Información Geográfica.

Escallonia myrtilloides L.f. (Escalloniaceae) es una especie de arbusto o arbolito nativa de los bosques húmedos montanos y páramos desde Costa Rica hasta Bolivia, creciendo entre los 2500 y 3400 m.s.n.m (Gargiullo & Magnuson, 2008). Actualmente, su hábitat se encuentra en peligro debido a las acciones antropogénicas que alteran el equilibrio de estos ecosistemas y por esta razón se ve disminuida su población. En algunos casos su madera dura es aprovechada localmente para construcción de viviendas o cercas, también es implementada para carpintería y ebanistería (OPEPA, 2019). Provisiona hábitat para otras especies de flora y fauna. (Fundación Cerros de Bogotá, 2009). Gracias a su importancia resulta pertinente que esta especie pueda incluirse en los planes de enriquecimiento de bosque natural, principalmente en la reforestación de márgenes de cuerpos de agua como quebradas y en su utilización como cerca viva. El objetivo de este proyecto es conocer la distribución geográfica potencial de *E. myrtilloides* con el fin proponer áreas de conservación y futuras investigaciones para la especie.

2. PLANTEAMIENTO

2.1 JUSTIFICACIÓN

E. myrtilloides es un arbusto o arbolito distribuido en América central y América del Sur desde Costa Rica hasta Bolivia. Actualmente es una especie cuya categoría de amenaza o riesgo de extinción no ha sido evaluada por medio de los criterios de la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (UICN) (Bernal, Gradstein &Celis, 2019), sin embargo los ecosistemas en donde la especie se encuentra como bosques altoandinos y páramos han sido fragmentados principalmente por actividades agropecuarias, deforestación con introducción de especies exóticas, minería y aprovechamiento de madera para funciones de ebanistería (Alarcón *et al.,* 2002) causando una disminución en los hábitat.

Actualmente, la especie no se encuentra dentro de los repositorios de los Biomodelos del Instituto Alexander Von Humboldt, una herramienta digital para la consulta y validación de información sobre la distribución y ubicación de las especies del país, que permite facilitar la toma de decisiones sobre el territorio, áreas de conservación, medidas para el control de especies invasoras que en gran medida dependen de información sobre su distribución y que actualmente solo el 0,7% es decir 153 especies de plantas registradas para Colombia se encuentran en el repositorio habiendo un vacío de información para el 99.2% (22.654) de las especies de plantas del país.

Las poblaciones actuales de *E. myrtilloides* deberían ser conservadas debido a su esencial importancia para la estructura y composición de ecosistemas alto andinos, por su capacidad de albergar especies como hospedera de epífitas y refugio de fauna, son indispensables en la regulación de los márgenes hídricos en alta montaña, contribuyen a la protección de los pantanos y a la recuperación de bosques de ladera (MAVDT, 2003) y aportan protección a los suelos a través de materia orgánica evitando procesos de erosión.

Por todo lo anterior, es pertinente utilizar los modelos de distribución de especies, como una herramienta que nos permita determinar cuáles son las condiciones ambientales que influyen en la distribución geográfica de esta especie. Estos estudios han sido aceptados con mayor fuerza e implementados con el fin de generar acciones de manejo para la conservación, lo cual es sumamente necesario hablando en términos de cambio climático y degradación ambiental.

2.2 DELIMITACIÓN DEL PROBLEMA

Actualmente, los bosques de *E. myrtilloides* son cada vez más escasos, principalmente por una reducción de los ejemplares maduros gracias a la explotación de sus hábitats nativos (bosques altoandinos y ecosistemas de páramo) y al aprovechamiento de su madera para ebanistería (Minga & Verdugo, 2017). En Colombia, las iniciativas para proteger y conservar las especies nativas de uso maderero son pocas (Cárdenas *et al.*, 2011) por lo cual su población ha ido disminuyendo, sin embargo, resulta de gran importancia conocer y proteger especies como esta que, además, aporta servicios ecosistémicos de gran importancia, como la regulación hídrica interceptando el agua de niebla y lluvia para luego ser aportada al ecosistema y segundo, por la disminución de su transpiración (Tobón & Arroyave, 2007). Además, son reservorios de biodiversidad, permitiendo interacciones de dos tipos: planta-planta albergando gran riqueza y abundancia de epífitas, lianas y bejucos que constituyen en gran medida, el sotobosque de ecosistemas montanos tropicales y planta-animal proporcionando microhábitats que sirven de albergue a diversas especies de fauna, además de forrajeo, anidación y polinización. Constituye un papel importante en el cuidado de suelos, siendo esencial en la protección de márgenes hídricos, pantanos y recuperación de bosques de ladera en páramos húmedos (MAVDT, 2003), enriqueciéndolo de nutrientes a través de materia orgánica y disminuyendo su erosión.

Por esta razón, se considera sumamente importante investigar las características del nicho ecológico de *E. myrtilloides* y su distribución geográfica potencial, que aporten información y alternativas de protección y conservación para la especie utilizando como herramienta los modelos de nicho ecológico frente a procesos de cambio climático.

2.3 OBJETIVOS

2.3.1 Objetivo general

Modelizar la distribución geográfica potencial de *Escallonia myrtilloides* con el fin de aportar a futuras investigaciones para el análisis de los efectos del cambio climático a partir de variables ambientales que determinan su distribución.

2.3.2 Objetivos específicos

2.3.2.1. Recopilar, organizar y depurar la información de registros georreferenciados de la especie *E. myrtilloides* a partir de bases de datos especializadas en biodiversidad.
2.3.2.2. Determinar las variables ambientales que influyen en la distribución potencial de la especie *E. myrtilloides*, a partir de WorldClim (www.worldclim.org) y otras fuentes.
2.3.2.4. Realizar un modelo de distribución para la especie, utilizando como herramienta base MaxEnt 3.3.3 k.
2.3.2.5. Evaluar y analizar el modelo de distribución de la especie a nivel global.
2.3.2.6 Socializar los resultados.

2.4 REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

"*Un modelo es una representación parcial de la realidad que refleja algunas de sus propiedades. Es, por tanto, una simplificación debida tanto a la necesidad de reducir la complejidad del objeto real para poder trabajar con él, como a nuestro desconocimiento de muchas de sus propiedades*" (Mateo, Felicísimo & Muñoz, 2011).

Dentro de este contexto, los modelos de distribución de especies (MDE) son representaciones parciales de la realidad a través de mapas reflejando lo "adecuado o inadecuado" de un área

determinada para satisfacer las necesidades o requerimientos de una especie desde el punto de vista biológico: temperatura, precipitación, sustrato geológico y, en general, cualquier variable ambiental (Mateo, Felicísimo & Muñoz, 2011). Según Brown *et al.* (1996), la distribución geográfica de una especie es una expresión compleja de su ecología e historia evolutiva.

Según Reguerin (2014), existen varios elementos a destacar en cualquier modelo de distribución de especies: registros de presencia de la especie, variables ambientales almacenadas como mapas digitales, un algoritmo que analiza la relación entre ambas entradas, un modelo definido en el espacio ecológico, y la representación geográfica del resultado en forma de mapa.

Estos modelos de distribución de especies se han expandido como una herramienta para el análisis de los patrones espaciales de presencia y ausencia de especies, gracias al desarrollo de los Sistemas de Información Geográfica y técnicas estadísticas (Guisan & Zimmermann, 2000; Rushton *et al.,* 2004) y se convierte en un insumo básico para desarrollar planes de manejo y conservación, además son la base sobre la cual se estructuran estudios avanzados de taxonomía, ecología, biogeografía y evolución (Reguerin, 2014).

Los primeros intentos en crear modelos de distribución, se basaron en programas sencillos como el uso de plataformas: BIOCLIM (Nix *et al.,* 1986), el cual predice condiciones viables para las especies en un contexto bioclimático. Posteriormente, se desarrollaron programas que ejecutan regresiones logísticas y lineales, GLM (Generalized linear models) (Austin *et al.,* 1990). Con el avance de la tecnología, fue posible desarrollar esta información basados en métodos de inteligencia artificial como GARP (Genetic Algorithm for Ruleset Prediction) y GAP (Groups, Algorithms, Programming—a System for Computational Discrete Algebra) (Stockwell & Noble, 1992). En la actualidad uno de los programas más utilizados es MaxEnt (Maximum Entropy) que fue elaborado por Phillips *et al.,* (2006) en colaboración con el laboratorio American Telephone and Telegraph Company en la Universidad de Princeton y el Centro de Biodiversidad y Conservación del Museo Americano de Historia Natural.

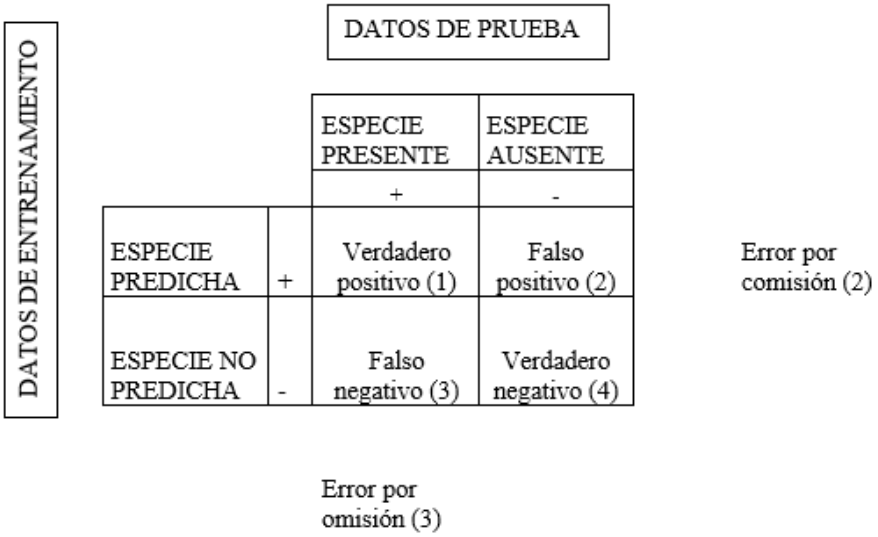
MaxEnt, es una máquina de inteligencia artificial con una formulación matemática precisa. La idea básica de MaxEnt es estimar (aproximar) la probabilidad de distribución desconocida de una especie, es decir: el programa busca la distribución más amplia (de máxima entropía) sujeta a una serie de restricciones (variables ambientales) (Phillips *et al.,* 2006).

Según Reguerin (2014), MaxEnt tiene ventajas sobre otros programas ya que sólo requiere datos de presencia, pero puede usar datos de ausencia, y en ambos casos en conjunto con variables ambientales. Además, puede usar tanto datos continuos como categóricos y puede incorporar interacciones entre distintas variables. Adicionalmente, utiliza algoritmos eficientes que han sido desarrollados para garantizar convergencia en una distribución probabilística óptima (entropía máxima) y finalmente, la distribución probabilística de MaxEnt tiene una definición matemática concisa. Es necesario que los modelos de distribución obtenidos por MaxEnt sean evaluados.

Adicionalmente, los datos de presencia disponibles generalmente no cubren todo el rango de distribución natural de una especie. Los programas de modelización de la distribución de especies como MaxEnt permiten aproximar el rango total de distribución. Sin embargo, es importante tener en cuenta que cuando un área geográfica presenta condiciones ambientales favorables para una especie, esto no necesariamente quiere decir que la especie efectivamente se encuentre allí (Ruiz de Larramendi, 2017), este error por comisión es uno de los tipos de errores que puede presentar un modelo. Otro error es el de omisión, donde no se predice un área de presencia, pero si existen registros de la especie en dicho lugar. El primer tipo de error, (por comisión) puede ser real o aparente siendo o una sobre predicción del modelo o una predicción de su nicho potencial y puede ser validado en campo, mientras que el segundo tipo de error (por omisión) es más importante y criticable al dejar fuera del modelo zonas de presencia que pueden ser importantes para la supervivencia de la especie (Mateo, Felicísimo & Muñoz, 2011) y de la cuales se tiene certeza. A

partir de estos errores se habla de una matriz de confusión, que recoge las frecuencias de cada uno de los cuatro tipos de pronóstico y nos indica el error que ha cometido el modelo. (Figura 1).

Figura 1. Matriz de confusión. Adaptada en base a la matriz de Fawcett, T. (2006) en la evaluación de modelos de clasificación.



1. Cantidad de positivos que fueron clasificados correctamente como positivos por el modelo.
2. Cantidad de negativos que fueron clasificados incorrectamente como positivos por el modelo.
3. Cantidad de positivos que fueron clasificados incorrectamente como negativos por el modelo.
4. Cantidad de negativos que fueron clasificados correctamente como negativos para el modelo.

Por otro lado, la mayor parte de la información referente a la distribución de especies está almacenada en colecciones, museos o herbarios, cada día más fácilmente accesibles vía Internet (Guralnick *et al.,* 2007). Estos datos suelen presentar algunos inconvenientes como: Solo registran datos de presencia y no de ausencia, un porcentaje variable pero significativo presenta errores de georreferenciación e identificación taxonómica (Gaubert, 2007); y por último, están colectados con diferentes fines y por diferentes recolectores, sin una estrategia común de muestreo, por lo que en muchas ocasiones son una representación sesgada de la distribución de la especie (Reddy & Dávalos, 2003; Soberón & Peterson, 2004; Hopkins, 2007).

Las aplicaciones de los modelos de distribución más desarrollados son los relacionados con la riqueza de especies (Cumming, 2000) y su distribución, habiendo sido publicados trabajos para casi la mayoría de los grupos. También han sido aplicados a la distribución potencial de comunidades, de hábitats amenazados, de especies extintas incluyendo la localización de refugios de flora en el pasado (Médail & Diadema, 2009). Otras aplicaciones han sido el estudio del riesgo asociado a las especies invasoras, la protección y conservación de especies amenazadas y los posibles efectos del cambio climático (Loarie *et al.,* 2009).

Para la investigación, se trabajó con la especie *Escallonia myrtilloides* L.f. perteneciente al género Escallonia (Escalloniaceae) (APG IV, 2016). Morfológicamente este grupo de arbustos o árboles se caracteriza por tener hojas simples y aserradas dispuestas en espiral. Sus flores pueden ser solitarias o en forma de inflorescencias, pentámeras con pétalos libres. Estas flores pueden ser visitadas por insectos generalistas y además presentan anemofilia, un factor significativo característico en la biología reproductiva de este tipo de flora (Anderson *et al.*, 2001). Sin embargo, los conocimientos sobre la biología de polinización del género son limitado. (Morello, Giussani & Sede, 2013) y no existen para la especie propiamente dicha.

La gran mayoría de especies de este género se encuentran a lo largo de los Andes desde Costa Rica hasta Tierra del fuego. Estas especies crecen cerca de montañas, arroyos de agua dulce, bosques abiertos y zonas costeras, sin embargo, hay poblaciones que pueden ocurrir por encima de los 3000 m como es el caso de *Escallonia myrtilloides* en países como Colombia, Ecuador Perú y Bolivia. (Morello, Giussani & Sede, 2013).

Escallonia myrtilloides L.f. posee dos variedades reconocidas actualmente: *Escallonia myrtilloides* var. *myrtilloides*, y *Escallonia myrtilloides* var. *patens* (Ruiz & Pav.) Sleumer (Bernal, Gradstein & Celis, 2019). La diferencia entre ellas está dada por el tamaño de las hojas y su rango altitudinal: La primera variedad presenta hojas pequeñas y coriáceas, se encuentra entre los 3000 y 3400 m.s.n.m y es más frecuente su observación, mientras que la variedad *patens* posee hojas y flores más grandes, mayor altura, crece en riberas de ríos de Cuenca y está distribuida entre los 2400 y 3800 m.s.n.m. (Romoleroux *et al.,* 2019) (Minga & Verdugo, 2017). Como criterio para el trabajo se tomaron en cuenta las dos variedades también aceptadas como *Escallonia myrtilloides* L.f.

Comúnmente es denominada Rodamonte o Pagoda (Martínez & García, 2010), es nativa de los bosques húmedos montanos y páramos desde Costa Rica y Panamá hasta los Andes desde Venezuela a Bolivia, creciendo entre los 2500 y 3400 m.s.n.m (Gargiullo & Magnuson, 2008: Pancel, 2016), sin embargo, en Ecuador se presenta entre los 2000 y 4500 m.s.n.m (Romoleroux *et al.,* 2019). Para Colombia existen registros en los departamentos de Antioquia, Boyacá, Caldas, Cauca, Cesar, Chocó, Cundinamarca, La Guajira, Huila, Magdalena, Meta, Nariño, Norte de Santander, Putumayo, Quindío, Risaralda, Santander, Tolima, Valle desde los 2500 a 3900 m.s.n.m. según Bernal, Gradstein & Celis (2019).

Morfológicamente*, E. myrtilloides* L.f es un arbusto o árbol pequeño de 2 a 6 m de altura (Gargiullo & Magnuson, 2008), aunque se ha registrado con una altura máxima de 12 m (CFVA, 2014), perennifolio. Su tronco curvo posee un diámetro aproximado de 40 cm, corteza marrón, fibrosa, escamosa, fisurada, con ramas numerosas y en los extremos ligeramente hacia arriba. Su copa está estratificada en pisos parecida a una pagoda dispuesta de manera horizontal siendo extensa en sus extremos. Sus ramas son gruesas creciendo en diferentes direcciones; sus ramitas son de color café rojizo y están dispuestas en dos planos sobre sus ramas principales. (Barrero *et al.,* 2012). Hojas elípticas a obovado-elípticas, márgenes revolutas y con pequeños dientes, haz lustrosa, glabra, son simples, alternas, dispuestas helicoidalmente, 1-1.5 cm de longitud y 0.5-0.8 cm de ancho, coriácea, de color verde oscuro en el haz y verde pálido en el envés, nerviación poco marcada y sin estípulas. Flores solitarias axilares de color blanco verdoso a amarillo pálido de simetría radial, cáliz verde, con cinco lóbulos formando un tubo, lóbulos entre 3-5 mm de longitud, corola 5-lobulada, pétalos libres de 0.5-0.7 cm de longitud, 5 estambres; cápsula dehiscente, ovario inferior amarillo (Vargas, 2002; Barrero *et al.,* 2012), estigma lobado (Minga & Verdugo, 2017). El fruto es seco de aproximadamente 0,6 cm de ancho, dehiscente, de semillas numerosas duras de color café.

Datos sobre la ecología hablan del sistema de dispersión de la especie que, según el CFVA (2014) es de dos maneras: Barocoria (gravedad), Anemocoria (viento). Presenta buena capacidad de rebrote, sin embargo, es una especie de crecimiento lento por lo que la mayoría de sus poblaciones son individuos juveniles (Vargas, 2002), longevidad baja (0-35 años) y su regeneración natural es muy escasa (Minga & Verdugo, 2017). Está presente en zonas húmedas y muy húmedas, requiere abundante luz solar, crece óptimamente en suelos sueltos y profundos, aunque puede resistir suelos encharcados formando asociaciones en pantanos y en los derrubios coluviales. Es común encontrarla en márgenes de ríos, quebradas y sitios planos (Barrero *et al.,* 2012). También se puede encontrar en bordes de páramo, bosque enanos y bosques de galería. (Vargas, 2002). Cuando esta especie crece en humedales se convierte en un arbusto (Barrero *et al.,* 2012). Presenta una floración estacional (CFVA, 2014).

Tradicionalmente su madera ha sido empleada para distintas labores de ebanistería, creación de postes, vigas y pequeñas construcciones (Minga & Verdugo, 2017). Además, sus flores aportan una resina que sirve en la preparación de bebidas para curar las molestias del parto (Montesinos, 1996).

En términos de restauración ecológica, *E. myrtilloides* es considerada como una especie niñera facilitadora, teniendo un efecto positivo sobre el crecimiento, supervivencia y desarrollo de otras especies en comparación con unas condiciones del ambiente exterior. Dichas interacciones influyen sobre la organización, estructura y dinámica de las comunidades vegetales (Cabrera & Ramírez, 1994).

Actualmente el estado de conservación de la especie no se encuentra evaluado (Bernal, Gradstein & Celis, 2019). Sin embargo, debido a la degradación de los bosques altoandinos, páramos (CAR, 2009) y otros ecosistemas en donde se encuentra, sus poblaciones se han reducido principalmente por actividades agropecuarias, deforestación con introducción de especies exóticas, minería y el aprovechamiento de su madera (Alarcón *et al.,* 2002) provocando que los bosques de la especie estén desapareciendo y, que deberían ser conservados pues son un refugio muy importante para muchas especies de plantas y animales.(OPEPA, 2019). Sumado a esto, esta especie es esencial en la protección de márgenes hídricos, pantanos y recuperación de bosques de ladera en páramos húmedos (MAVDT, 2003).

3. METODOLOGÍA

3.1 ÁREA DE ESTUDIO:

Para el estudio se seleccionó la especie *Escallonia myrtilloides* L.f. (Escalloniaceae). Durante la recopilación de registros geográficos se contemplaron todas las zonas de presencia, sin embargo, los resultados de la modelización se presentaron en aquellas zonas que forman parte de la distribución entre los 1500 a 4500 m.s.n.m desde Costa Rica hasta Bolivia, tomando en cuenta Panamá, Colombia, Venezuela, Ecuador y Perú.

3.2 RECURSOS FÍSICOS Y PROCEDIMIENTO

3.2.1 Recopilación de la información

Para la recopilación de los datos de distribución, se utilizaron los registros biológicos de las plataformas informáticas especializadas en biodiversidad tales como GBIF, SIB Colombia, Herbario JBB y Herbario Nacional COL. Los datos descargados se obtuvieron en el estándar Darwin Core formato CSV. A manera de complemento, se realizó una salida al Corregimiento de San Juan de Sumapaz, vereda Las Vegas, donde se colectaron tres individuos con el debido protocolo para ser incluidos en la colección del herbario JBB.

La organización y depuración de la información se realizó de manera manual a través de herramientas de Excel y con el programa QGIS 3.10, que también fue útil para representar el modelo por medio de mapas.

La matriz se organizó con un total de 784 registros georreferenciados de *E. myrtilloides* de 1548 descargados. Criterios de números mínimos para obtener modelos estadísticamente robustos han establecido que, sobre 30 (Wisz *et al.,* 2008) o 50 (Kadmon *et al.,* 2003) registros por especie, se

pueden obtener modelos estadísticamente válidos, sin embargo, la finalidad es desarrollar el modelo con el mayor número de presencias posibles para la especie.

En la mayoría de las investigaciones referentes a la distribución de especies, los datos son recolectados de base de datos disponibles en internet como es el caso, y pueden presentar algunos problemas: 1. Solamente registros de presencia y no de ausencia, 2. Errores en la identificación taxonómica y georreferenciación, 3. La metodología de colecta varía sin una estrategia común de muestreo, pudiendo ser representaciones sesgadas de la realidad (Mateo, Felicísimo & Muñoz, 2011). Para disminuir estos errores se organizaron los datos en una matriz de Excel con la siguiente información y si, poder ser depurados:

1.Numero de individuo: A cada espécimen se le otorgo un numero para facilitar su búsqueda.
2. Nombre científico: Se tomaron en cuenta solo especímenes que fueron identificados a nivel de especie incluyendo las dos variedades (*E. myrtilloides* var *myrtilloides* & *E. myrtilloides* var *patens*).
3.Pais/Departamento/Municipio/Vereda: Se anoto la mayor cantidad de información en donde se realizó el inventario, desde el área mas grande a la más pequeña.
4. Latitud y Longitud: Estas casillas son unas de las mas importantes, siendo la base para encontrar la distribución de la especie, por lo que se verificaron una por una. En primer lugar, se verifica que los datos de País/Departamento/Municipio/Vereda concuerden con la proyección del punto en el mapa; si no concuerdan, pueden estar invertidos los datos de latitud y longitud, si no es el caso y no se logró determinar la localidad, son excluidos del estudio. A su vez, no se tomaron en cuenta datos que situaban coordenadas de herbarios (sitios fuera del área de distribución natural de la especie) y coordenadas incompletas a partir de la proyección de los mismos en Google Earth y el software QGIS 3.10.
5. Elevación: Elevación en m.s.n.m. En algunos casos esta información no se encuentra y se puede calcular a partir de los valores obtenidos de la proyección de los puntos sobre la capa ráster de altura obtenida del modelo de elevación digital "Shuttle Radar Topography Mission" (Farr *et al.,* 2007) , disponibles para descarga en el portal de la NASA, aquí https://dds.cr.usgs.gov/srtm/
6. Fecha: Fecha de colección: Dia, mes, año.
7. Fuente: De donde proviene el dato. Se descartaron aquellas fuentes que no fueran seguras dentro de los parámetros de publicación de datos.

Al momento de depurar la información también se eliminaron datos duplicados y áreas en donde el diámetro del punto georreferenciado superaba los 1000 km.

Para que los registros fueran compatibles con la entrada de MaxEnt, el archivo se organizo en un block de notas con las siguientes características: inicial del género seguido del guion bajo y las tres primeras letras del epíteto especifico con las coordenadas geográficas en WGS-1984, (Ejemplo: E_myr, 68.750944,14.849058), para después guardar este archivo con extensión ".csv".

3.2.2 Variables ambientales

Las variables a analizar dependen del espacio geográfico en donde se encuentre la especie, y de los objetivos que busca la caracterización e identificación del espacio ambiental donde se distribuye. (Pliscoff & Fuentes, 2011).

Para el caso de *E. myrtilloides*, los datos de partida para la obtención de las capas climáticas han sido obtenidos a través del portal *http://www.worldclim.org/.* "WorldClim" con un conjunto de 19 capas de información climática a escala mundial (datos climáticos geo-representados en una malla). La extensión espacial y la escala del trabajo condicionan la selección de variables independientes a incluir en el modelo. Las escalas amplias (en Kilómetros), permiten explicar los

patrones de distribución razonablemente bien por factores climáticos y que a escalas menores (cientos de metros o menos) es probable que la distribución responda a la disponibilidad de recursos y variaciones micro topográficas. (Mateo, Felicísimo & Muñoz, 2011). La resolución espacial máxima de las capas descargadas es cercana a 1km^2 (30 segundos) (Ruiz de Laramendi, 2017; Hijmans *et al.,* 2005) captando una buena heterogeneidad entre la zona estudiada. Todos los datos se encuentran en el Sistemas de Coordenadas WGS 1984 EPSG: 4326, se descargaron en formato ráster y fueron convertidas en archivos ASCII para integrarlas a la generación del modelo.

Estas variables climáticas son derivadas de valores de temperatura y precipitación mensual con el fin de generar variables biológicamente más características y más adecuadas para el modelamiento de nicho ecológico (WORDLCLIM, 2007). Además, se tomó en cuenta la variable altura, siendo una especie con mayores registros en bosques altoandinos y páramo. Esta variable se obtuvo gracias al modelo de elevación digital "Shuttle Radar Topography Mission" (Farr *et al.,* 2007), disponibles para descarga en el portal de la NASA, aquí https://dds.cr.usgs.gov/srtm/

Las capas digitales de variables climáticas obtenidas por la base de datos WorldClim (Figura 2) con superficies climáticas mensuales de alta resolución espacial han sido ampliamente utilizadas en estudios sobre modelos de distribución para la variedad de ecosistemas desplegados de los Andes (Nieves & Pérez, 2016), desde flora (Hernández *et al.,* 2016; Martínez *et al*., 2016 ; Alfonso *et al.,*2011; Manzanilla *et al.,* 2019; Arce & Lucero, 2019), hasta fauna (Briones, Lavariega & Lira, 2012 ; Mercado & Wallace 2010; Guevara *et al.,* 2019).

El criterio para establecer variables que: Primero, tengan una relación potencial en la distribución de la especie ya sea como factor limitante o bien como indicador; segundo, que muestren variabilidad en el área de estudio y tercero, que no estén correlacionadas entre sí (Mateo, Felicísimo & Muñoz, 2011) se realizó un análisis de Jackknife.

Figura 2. Variables bioclimáticas y ambientales utilizadas para conocer la distribución geográfica de *E. myrtilloides*. Tomado de www.worldclim.org. y adaptado por Hernández et al., (2016).

Código	Descripción de variable	Unidades
Bio1	Temperatura promedio anual	°C
Bio2	Oscilación diurna de la temperatura	°C
Bio3	Isotermalidad	Adimensionales
Bio4	Estacionalidad de la temperatura	CV
Bio5	Temperatura máxima promedio del periodo más cálido	°C
Bio6	Temperatura mínima promedio del periodo más frío	°C
Bio7	Oscilación anual de la temperatura	°C
Bio8	Temperatura promedio del cuatrimestre más lluvioso	°C
Bio9	Temperatura promedio del cuatrimestre más seco	°C
Bio10	Temperatura promedio del cuatrimestre más cálido	°C
Bio11	Temperatura promedio del cuatrimestre más frío	°C
Bio12	Precipitación anual	mm
Bio13	Precipitación del periodo más lluvioso	mm
Bio14	Precipitación del periodo más seco	mm
Bio15	Estacionalidad de la precipitación	CV
Bio16	Precipitación del cuatrimestre más lluvioso	mm
Bio17	Precipitación del cuatrimestre más seco	mm
Bio18	Precipitación del cuatrimestre más cálido	mm
Bio19	Precipitación del cuatrimestre más frío	mm
Bio20	Altitud	m
Bio21	Régimen de Humedad	*
Bio22	Vegetación	23 tipos

°C= grados centígrados, CV= coeficiente de variación, m= metros, mm= milímetros

3.2.3. Modelado de Nicho ecológico.

Para obtener la distribución potencial de *E. myrtilloides* se utilizó el programa MaxEnt versión 3.3.3k (Phillips *et al.,* 2006; Elith *et al.*, 2011) que estima la distribución más uniforme (máxima entropía) de puntos de ocurrencia en un área de estudio, mediante un conjunto de selecciones limitantes (variables ambientales) que determinan la elección de un evento (Beauvais *et al.*, 2006). Adicionalmente, ha sido ampliamente utilizado para modelar la distribución potencial de especies individuales, y recientemente ha demostrado su potencialidad en el modelado de las zonas donde puede existir una determinada comunidad vegetal (Tarkesh & Jetschke, 2012).

Esta técnica aporta significativamente al modelo ya que sólo requiere datos de presencia, y en comparación con otras, ha probado tener un muy buen rendimiento, aún con bajo número de localidades de registros. (Tognelli *et al.,* 2009). En esta investigación, al tener solo datos de presencia, MaxEnt crea puntos de "pseudoausencias" y divide la base de datos de registros de presencia en dos grupos: el primero, se utiliza para construir el modelo mediante los datos de entrenamiento, mientras que el segundo sirve para evaluar el modelo al utilizar los datos de prueba (Phillips *et al.,* 2006). En este caso, del total de datos de entrenamiento (784) se escogió el 10% aleatoriamente que ayudaron a validar el modelo (datos de prueba).

Para establecer la importancia relativa de los factores climáticos sobre la conformación del área de distribución geográfica de *E. myrtilloides*, se realizó un análisis de Jackknife a las 20 variables independientes por medio de MaxEnt. Este procedimiento permite evaluar el aporte de cada una y así, identificar las que más información por sí solas aportan al modelo. (Ortiz *et al.*, 2014). Los resultados son expresados con una medida conocida como "ganancia". (Guisan & Zimmermann 2000).

En primer lugar, para generar el modelo de distribución de *E. myrtilloides* se utilizaron los 784 registros depurados de presencia para la especie (tanto de entrenamiento como de prueba explicados anteriormente) en formato csv y las variables ambientales seleccionadas del análisis Jackknife (Bio 1, Bio 2, Bio 5, Bio 7, Altura) en formato ASCII.

El modelo se transformó de continuo a binario (presencia/ ausencia) de la especie en un área específica gracias al umbral de probabilidad en el cual la sensibilidad es igual a la especificidad para los datos de prueba del modelo planteado por MaxEnt. Dicha transformación nos ayudó a calcular y delimitar la distribución actual de *E. myrtilloides*.

El número de repeticiones del modelo fue 500 para seleccionar aleatoriamente el 10% de los puntos de ocurrencia (78 puntos) requeridos para evaluar la capacidad del mismo al momento de predecir la presencia de la especie. La salida fue de tipo logística y finalmente se tiene un archivo html arrojado por MaxEnt, donde se encuentran los resultados y análisis respectivos.

Es necesario que el modelo de distribución obtenido por MaxEnt sea evaluado estadísticamente (Pliscoff & Fuentes, 2011). Para ello se utilizó el método AUC que calcula los resultados obtenidos. El valor AUC (*Area Under the Curve*) varía de 0 a 1 (Pliscoff & Fuentes, 2011). De acuerdo a Araújo & Guisan (2006), una guía general para la clasificación de la precisión del modelo es: 0.5-0.6 = insuficiente; 0.6-0.7 = pobre; 0.7-0.8 = promedio; 0.8-0.9 = bueno; 0.9-1 = excelente. Generalmente el área bajo la curva es aceptada como un buen indicador para evaluar los resultados de la aplicación de los modelos (Phillips & Miroslav, 2008).

3.2.4 Generación de Mapas

El modelo final fue representado en forma de mapa por medio de la herramienta QGIS facilitando la observación de zonas de presencia y ausencia.

Para analizar el estado de vulnerabilidad de las áreas potenciales de la especie en Colombia, se utilizó la capa shape de los Parque Nacionales Naturales para visualizar y determinar las zonas protegidas en donde se encuentra. Esta capa se obtuvo a partir del Catálogo de Mapas del Sistema de Información Ambiental Colombiano (SIAC), disponible para descarga aquí; http://www.siac.gov.co/catalogo-de-mapas.

3.3 RECURSOS HUMANOS

El modelo de distribución de la especie *E. myrtilloides* se realizó bajo la jurisdicción del comité del herbario, ubicado dentro de las instalaciones del Jardín Botánico José Celestino Mutis, enmarcado en el proyecto de "Modelos de distribución geográfica y cambio climático en árboles priorizados del Distrito Capital", liderado y apoyado constantemente por Francisco Fajardo Gutiérrez.

4. RESULTADOS Y ANÁLISIS

4.1 Puntos de ocurrencia y distribución.

Se reunieron en total 784 registros georreferenciados de *E. myrtilloides* de los 1548 descargados, comprendidos entre los años 1919 a 2019 y distribuidos desde Costa Rica hasta Bolivia.

El país donde más registros se obtuvieron de la especie fue Colombia con un 31,88 % de los datos, seguido de Ecuador con un 30,87%. El país con el menor número de registros obtenidos fue Venezuela, Panamá y Bolivia (Tabla 1).

Tabla 1. Valores de los puntos de presencia de *E. myrtilloides* para cada uno de los países analizados y sus respectivos porcentajes en la contribución de presencias para el modelo.

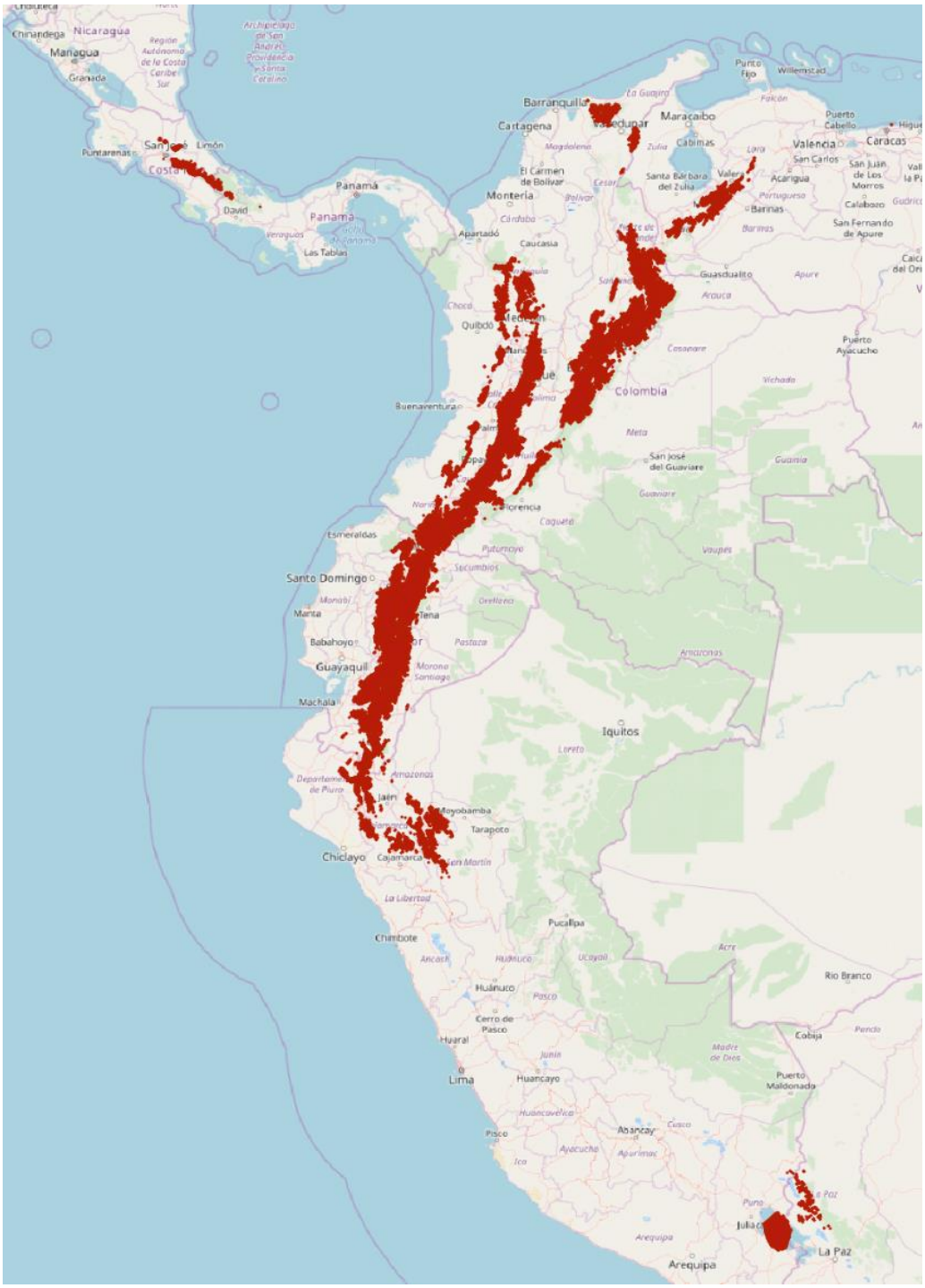
País / Datos	COS.R	PAN	COL	VEN	ECU	PER	BOL	TOTAL
Descargados	162	19	685	11	361	211	94	1543
Depurados	95	4	388	4	119	119	30	759
Total	67	15	297	7	242	92	64	784
CT % de los datos obtenidos	**8,55**	**1,91**	**37,88**	**0,89**	**30,87**	**11,73**	**8,16**	**100**

*COS.R: Costa Rica, PAN: Panamá, COL: Colombia, VEN: Venezuela, ECU: Ecuador, PER: Perú, BOL: Bolivia, CT%: Contribución total en porcentaje.

Se genero un mapa binario (Figura 3), donde 0.342 (valor del umbral) separa las zonas de presencia y ausencia trabajando con un rango de condiciones idóneas de 0 a 0,685400009. En la figura 3 podemos observar en rojo las áreas mayores o iguales a 0.342 que equivale al área potencial. El resto de áreas están por debajo de este valor (zonas de ausencia).

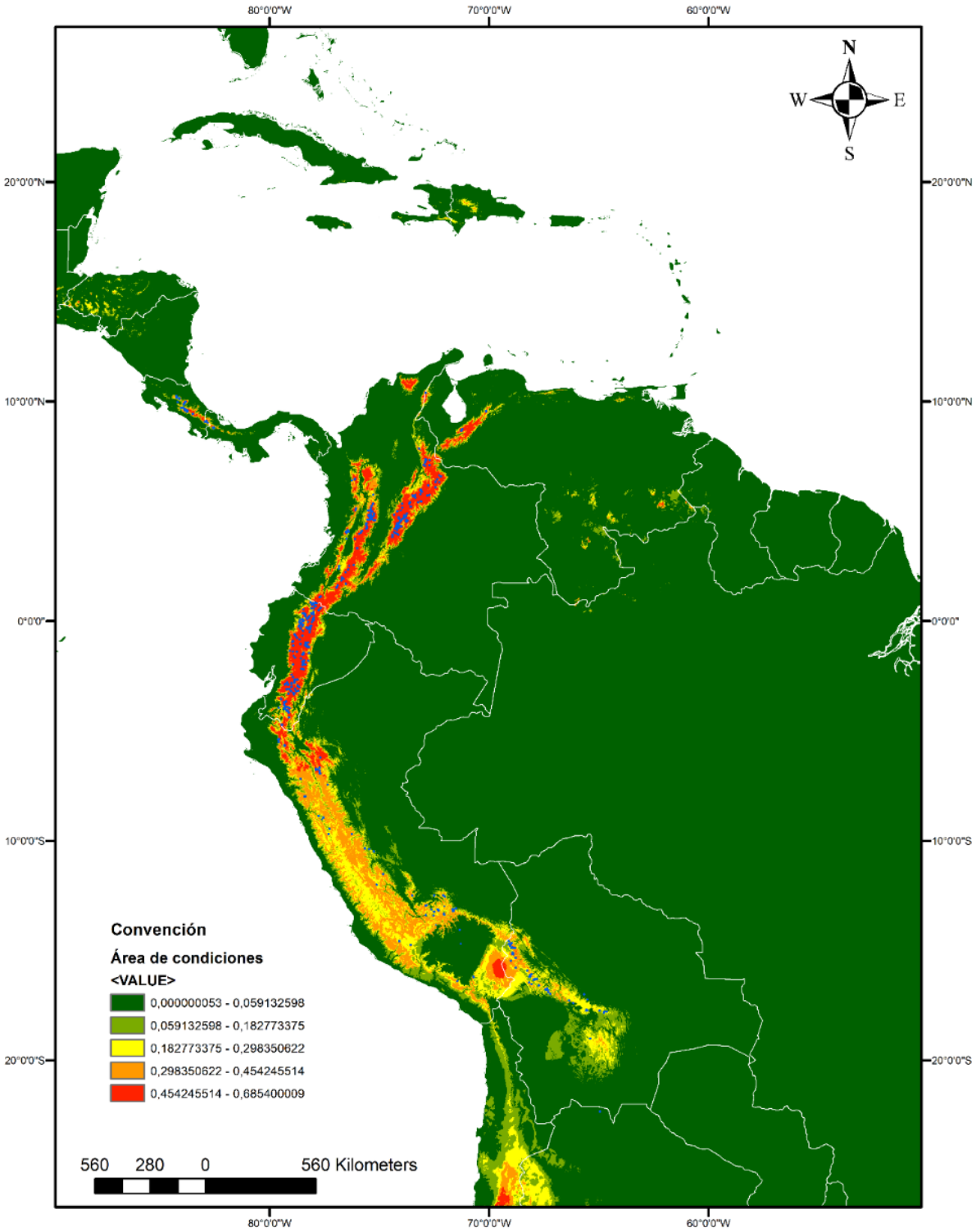
A su vez, se observa el mismo mapa (Figura 4) pero representando en una escala de rojo a verde la probabilidad de encontrar la especie en dicha zona.

Figura 3. Mapa binario que muestra las zonas de ausencia y presencia para *E. myrtilloides*.



*Mapa binario del área potencial de la especie E. Myrtilloides; en rojo zonas de presencia con valores superiores a 0.342.

Figura 4.Distribución de los registros de E. myrtilloides analizados desde Costa Rica a Bolivia.



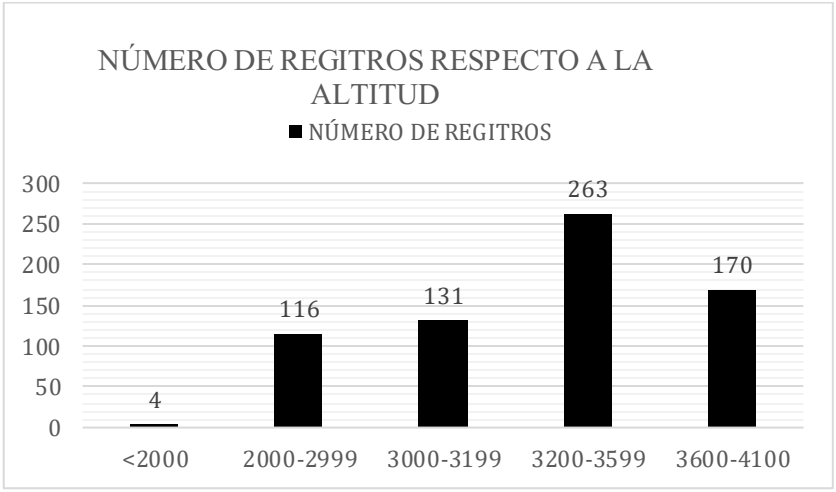
*Área azul: Puntos de presencia; la escala de rojo a amarillo: área potencial de la especie, donde rojo es la zona de mayor probabilidad y amarillo, zona de menor probabilidad; área verde: área no apta para la distribución de la especie.

E. myrtilloides se distribuye en Costa Rica y Panamá, pasando por todo el eje de los Andes tropicales, con un rango altitudinal entre los 2000 y 4500 m.s.n.m (Gargiullo & Magnuson, 2008; Pancel, 2016) concordando con el modelo de distribución desarrollado para la especie y un área potencial de 128.383 km^2 (Figura 3,4). Las variables que incidieron directamente en su distribución fue la temperatura (Bio5: Temperatura máxima del periodo más cálido; Bio7: Oscilación anual de la temperatura; Bio2: Oscilación diurna de la temperatura; Bio1: Temperatura promedio anual) y el rango altitudinal (Stmr) en donde se encuentra, según el análisis de Jackknife para el modelo final. Esto se ajusta a la teoría de que "*uno de los factores ambientales determinantes de la diversidad y distribución de las especies es la temperatura; que a su vez se relaciona directamente con la latitud y la altitud, entre otros factores"* (Realpe,2009).

Esta zona de distribución predominante como los es los Andes tropicales (Andes del Norte y Centro) (Myers *et al.* 2000), cubren una extensión total de 4000 km, y rara vez desciende por debajo de los 2000 m de elevación (Cuesta *et al.,* 2012). En esta zona se evidencia un gradiente de humedad decreciente de norte a sur excepto Venezuela que se expone a vientos convergentes del Atlántico y el Caribe, generando un ambiente con características pluviestacionales subhúmedas a secas (Ataroff & Sarmiento, 2003). Este factor humedad y el rango altitudinal condicionan directamente los valores de temperatura. De acuerdo con los datos climáticos mundiales "Climate-data.org" (obtenidos a partir del portal https://es.climate-data.org/) la temperatura promedio en la zona equivale a 21.8 °C y las precipitaciones promedio 2329 mm. La tasa de cambio en el promedio de la temperatura con respecto a la altitud está entre 0,6 y 0,7 ºC/100, pero existen reportes con valores más bajos de 0,5 ºC/100 m como ocurre en los páramos húmedos (Cuesta, 2012). Estas fluctuaciones diarias generan un estrés ambiental que enfrenta la vegetación en estos hábitats (Cuesta ,2012).

Los mayores reportes de presencia para el modelo de *E. myrtilloides* (Gráfico 1) se encontraron en lo que generalmente se denomina Páramo, ecosistema predominante de los Andes tropicales, extendiéndose desde Venezuela hasta el norte del Perú (Cleef, 1981), específicamente en subpáramo (263 registros; equivalente a 33%). Sin embargo, también se encuentra en bosque alto andino (131; 16%) y entre los 2000 y 3000 m.s.n.m (116; 14%). Los menores registros fueron por debajo de los 2000 m.s.n.m (4; 0,5%) coincidiendo con el rango altitudinal de la especie entre 2000 y 4500 m.s.n.m (Gargiullo & Magnuson, 2008: Pancel, 2016). No se obtuvieron registros por encima de los 4100 m.s.n.m. De los 784 datos, 100 (12%) no presentaron registros de altitud. Se tomó en cuenta la zonificación según Ortiz, González & López (2005) que clasifica los Paramos de Colombia.

Gráfico 1.Altitudes registradas según los datos de presencia de E. myrtilloides.



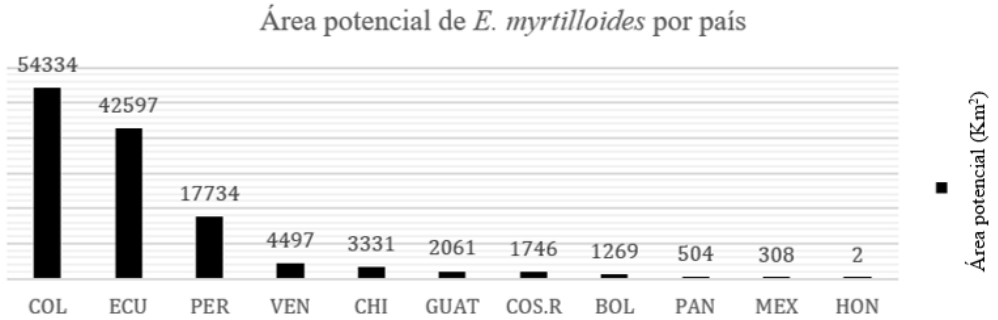
Según Rivera (2001), el subpáramo es considerado como una zona de transición entre el límite superior del boque altoandino y el páramo propiamente dicho, sin embargo, resulta difícil precisar donde inicia y los factores que determinan estos límites son muy variables. Algunos investigadores han propuesto una temperatura media anual de 10 °C y la presencia de heladas, como los principales indicadores para delimitar el subpáramo. A su vez, dicha hipótesis se relaciona entre otros factores, con la poca disponibilidad de nutrientes y el exceso de acidez del suelo, suelos que *E. myrtilloides* es capaz de tolerar (Rivera,2011).

Además, su distribución está sujeta a las condiciones particulares que presenta esta zona caracterizada por alta humedad y patrones de cambios estacionales altamente estables en las medias máximas y mínimas mensuales de temperatura (Buytaert *et al.,* 2006). Este primer factor, influye para que las fluctuaciones térmicas diarias y anuales sean menores y la especie se establezca mayormente en este ecosistema (además de ser uno de sus requerimientos al presentarse en zonas húmedas a muy húmedas) (Barrero *et al.,* 2012). Aquí, *E. myrtilloides* forma parches de vegetación de bosques enanos en hábitats con suelos ribereños muy húmedos. En algunos casos se entremezcla con encenillos del bosque andino y chusques (Rivera,2011).

La franja de subpáramo para Colombia según Rivera (2001), tiene una temperatura media mensual de 10,2°C, con una máxima de 17,3°C y una mínima de 3,1°C. La humedad relativa promedio es de 85% y la evaporación mensual de 82 mm; su precipitación promedio anual es de 1.716 mm, con una distribución unimodal, cuyo período lluvia va de abril a noviembre y el mes más húmedo es julio, con 192 mm; el período seco se presenta entre diciembre y marzo; enero es el mes más seco, con 57,7 mm. Los requerimientos de temperatura y precipitación media anual reportados para la especie son 11-17 ° C y 1000 a 4000 mm respectivamente (Pancel, 2016), lo que hace de este ambiente óptimo para su distribución.

Según la distribución potencial calculada por MaxEnt, se observa un error por comisión en 4 países de los cuales no se registraron presencias, pero si se obtuvieron áreas potenciales en el modelo: México con 308 km^2 (0,2 %), Honduras con 2 km^2 (0,001%), Guatemala con 2061 km^2 (1,6 %) y el norte de Chile con 3331 km^2 (2.5%). Los países que mayor área potencial albergan son Colombia con 54334 km^2 (42,3%) , Ecuador con 42597 km^2 (33,1%) y Perú con 17734 km^2 (13,8%).

Gráfico 2. Área potencial de E. myrtilloides



Sin embargo, se observa que el área potencial de la especie por todo el eje de los Andes centrales disminuye desde el norte de Perú hasta Bolivia. La probabilidad de encontrar a la especie en esta zona es mucho menor en comparación con los Andes Septentrionales. Un factor relevante para este resultado es lo que se denomina como "diagonal árida", una zona de escasas lluvias desde el norte del Perú hasta las costas patagónicas. Aquí, se interrumpe la continuidad de las zonas húmedas y específicamente en las costas del Perú y norte de Chile donde se intensifica la aridez,

la divergencia anticiclónica y el fenómeno de impulsión de los alisos. (Bruniard, 1982). Esta enorme franja resulta ser una barrera infranqueable para los componentes bióticos de climas húmedos, que han evolucionado aisladamente durante millones de años (Rozzi, Armesto & Figueroa, 1994). Las condiciones de precipitación, menores a 500 mm y temperaturas entre 32° y 52°, generan una disminución en el área potencial de la especie (Mancini *et al.,* 2005).

En la figura 5 se puede observar una parte del área potencial de *E. myrtilloides* (4288,97 km^2) ubicada sobre la Laguna Titica en Bolivia, área predicha para la especie, pero que claramente no se encuentra allí y seria catalogado como un error por comisión. Este error, puede deberse al tipo de capas utilizadas para el modelo, ya que el estudio se limitó a variables climáticas sin incluir topográficas, así que se tiene en cuenta factores como temperatura, altitud, y precipitación sin incluir el relieve de la zona y el tipo de suelo. Además, a pesar de que el portal BIOCLIM se ha usado en amplios trabajos, existen capas especializadas (Chelsea) para las características de los Andes tropicales que se pueden descargar libremente y arrojar resultados mas precisos al modelo.

Figura 5. Error por comisión en el área potencial de Bolivia. Laguna Titicaca



4.2 Modelamiento

4.2.1 Umbral de corte

La aplicación de un threshold (umbral) para los modelos de distribución de especies resulta discutible. Según Blas (2015) "*no es necesario aplicar un threshold, salvo que el análisis lo requiera, para este caso es mejor usar una versión continua del modelo"*, sin embargo, Liu *et al.,* (2005) afirma que "… *en la práctica de conservación y gestión ambiental, la información presentada como presencia / ausencia de especies puede ser más práctica que la presentada como probabilidad o idoneidad. Por lo tanto, se necesita un umbral para transformar los datos de probabilidad o idoneidad en datos de presencia / ausencia. También se necesita un umbral al evaluar el desempeño del modelo".* En este orden de ideas, la elección del umbral es determinante en la distribución potencial obtenida y depende del objetivo del modelo. Esta es una tarea difícil y en la actualidad no existe un procedimiento que no incluya algún grado de arbitrariedad (Blas, 2015; Torres & Jayat, 2010). Por esta razón, aunque esta elección resulte subjetiva, son valores

que se deben ajustar dependiendo del problema de la investigación y se parte de allí, para los criterios del desarrollo del modelo de *E. myrtilloides*.

Para obtener la distribución total (Figura 3,), MaxEnt genero un archivo de Salida de tipo Logístico, que presenta un mapa con las áreas de presencia, ausencia y los datos tanto de prueba como de entrenamiento en formato *ráster*. Este archivo refleja por tonalidades las medidas de similitud de los ambientes por cada uno de los pixeles donde se encuentra la especie y de esta manera diferenciar áreas de presencia y ausencia. Para diferenciar estas áreas, el modelo se transforma de continuo a binario a partir del valor del umbral (arrojado por MaxEnt y para dos tipos de salida; logística y acumulativa). En este caso, para el primer modelo el umbral de corte fue 0.5 por defecto. Para el modelo final, se tomó en cuenta el umbral logístico de probabilidad en el cual la sensibilidad es igual a la especificidad para los datos de prueba (Figura 6) que incluyo el 90% de los puntos de entrenamiento y el 10% para su validación, trabajando con un rango de condiciones idóneas de 0 a 0,685400009, donde 0.342 separa las zonas de presencia y ausencia. Este tipo de umbral iguala los errores de comisión y de omisión de manera que uno no sea mayor que el otro (Pearson, 2007).

Figura 6.Umbral de corte y tasas de omisión correspondiente.

	Umbral logístico	Descripción	Área fraccionada prevista	Tasa de omisión de formación	Prueba de tasa de omisión
	0,032	Valor acumulado fijo 1	0.136	0.005	0,021
	0,165	Valor acumulado fijo 5	0,098	0,031	0,021
	0.257	Valor acumulado fijo 10	0,080	0,061	0,062
	0.003	Mínima presencia de entrenamiento	0,182	0,000	0,000
	0.297	10 percentil presencia de entrenamiento	0,070	0,099	0,062
	0.270	Igualdad y especificidad de entrenamiento.	0,077	0,076	0,062
	0.140	Máxima sensibilidad de entrenamiento más especificidad	0,105	0,016	0,021
*	0,342	Prueba igual de sensibilidad y especificidad	0,066	0,128	0,062
	0.241	Máxima sensibilidad de prueba más especificidad	0,084	0,054	0,021
	0,030	Balance de omisión de entrenamiento, área predicha y valor umbral	0.137	0.004	0,021
	0,165	Equipe la entropía de distribuciones trilladas y originales	0,098	0,031	0,021

4.2.2 Análisis de Jackknife

La importancia de la permutación debe ser la elección en los análisis, no el porcentaje de contribución. Según Phillips et al., (2006), "*La medida de la importancia de la permutación depende solo del modelo final de MAXENT, no del camino utilizado para obtenerla. La contribución para cada variable se determina permutando aleatoriamente los valores de esa variable entre los puntos de entrenamiento (tanto la presencia como los antecedentes) y midiendo la disminución resultante en el entrenamiento AUC). Una gran disminución indica que el modelo depende en gran medida de esa variable. Los valores se normalizan para dar porcentajes*".

Descartando las variables correlacionadas por medio del análisis de Jackknife se obtuvo el porcentaje de contribución e importancia de permutación para cada una al modelo. Las variables que más importancia tienen en la distribución de *E. myrtilloides* son Bio2, Strm, Bio 7 y Bio5. (Figura 7).

Figura 7.Estimaciones de las contribuciones relativas e importancia de permutación para las 20 variables utilizadas al modelo.

Variable	Percent contribution	Permutation importance
Bio2	46.5	1.3
Strm	22.6	89
Bio7	21.3	0.8
Bio5	4.4	4.6
Bio4	1.8	1.1
Bio10	1.4	0.1
Bio19	0.6	0.2
Bio6	0.5	2.5
Bio15	0.3	0.2
Bio1	0.3	0.2
Bio11	0.2	0.1
Bio18	0.2	0
Bio16	0.1	0
Bio12	0	0
Bio17	0	0
Bio3	0	0
Bio14	0	0
Bio13	0	0
Bio9	0	0
Bio8	0	0

Tomando en cuenta el análisis de Jackknife, se escogen 5 de las 20 variables para construir el modelo: Bio2, Strm, Bio 7, Bio5 y Bio 1. Esta ultima variable se tomo en cuenta debido a las estimaciones que aporta, las cuales varían a futuro de acuerdo a escenarios de cambio climático y concentración de CO2 en la atmosfera. Además, a pesar de estar correlacionada con la altura, esta tiene un efecto directo a nivel fisiológico en la planta, mientras que la altitud tiene un efecto indirecto. Estas variables se analizaron por segunda vez con el mismo método obteniendo los valores de contribución al modelo de distribución de *E. myrtilloides*.

El segundo análisis da como resultado para el modelo final, una contribución importante para la variable Bio1, Bio5 y Altura (Stmr) tanto para los datos de entrenamiento como para los datos de prueba. La variable ambiental con mayor ganancia usada de manera aislada es la altura, teniendo información útil por sí misma. La variable ambiental que disminuye la ganancia cuando se omite es la Bio7, teniendo mayor cantidad de información que no está presente en las otras variables. Entre menos es la diferencia entre las barras, mas importante es la variable (Figura 8, 9,10 y 11).

Figura 8.Análisis de contribución de variables para los datos de entrenamiento

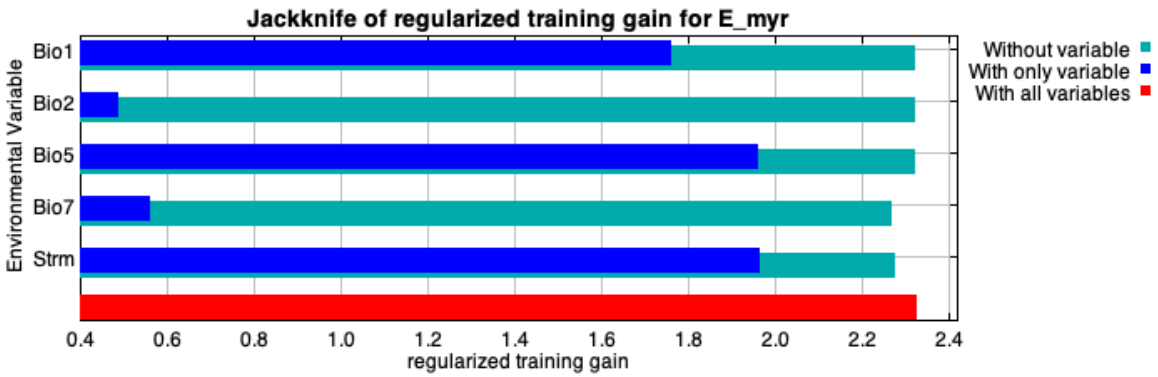


Figura 9.Análisis de contribución de variables para los datos de prueba

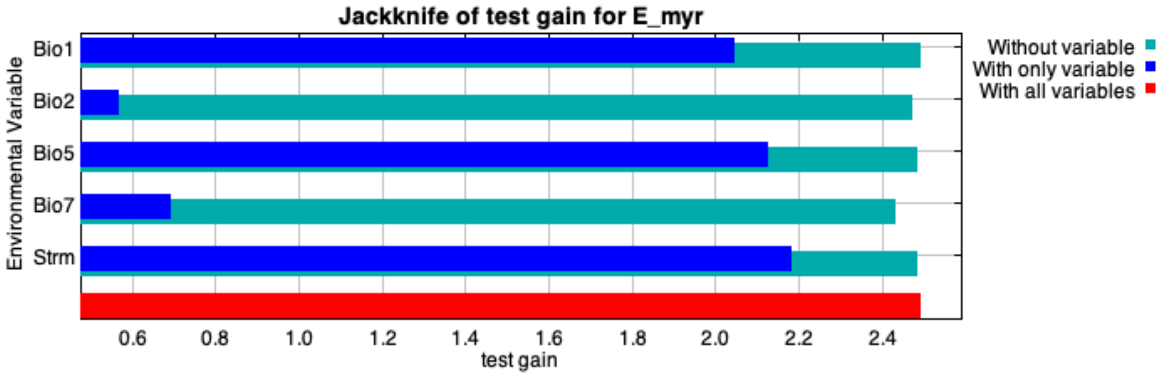


Figura 10.Análisis de contribución de variables para los datos de prueba aplicando AUC.

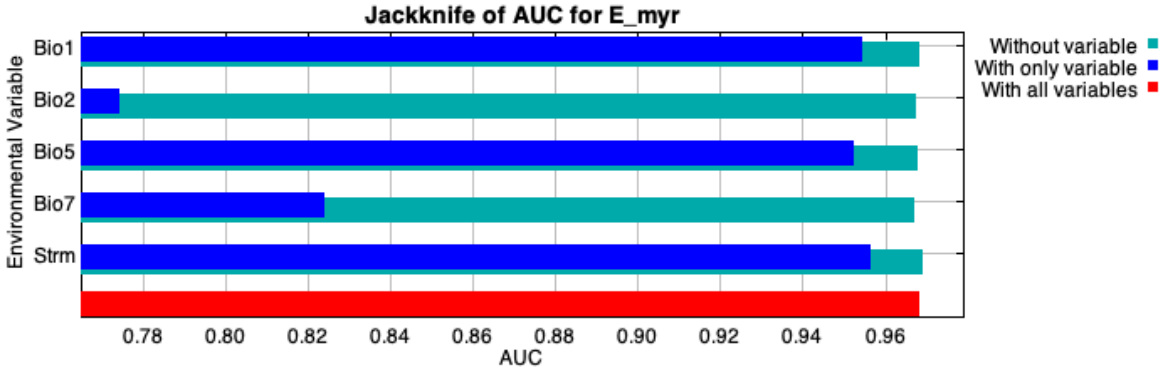


Figura 11.Estimaciones de las contribuciones relativas e importancia de permutación para las 20 variables utilizadas al modelo.

Variable	Contribución porcentual	Importancia de la permutación
Bio5	50	3.1
Strm	34,3	78,6
Bio7	15,3	17,9
Bio2	0.4	0,3
Bio1	0.1	0.2 0.2

4.2.3 Evaluación del modelo

Para evaluar el Modelo se tomaron en cuenta dos tipos de errores comunes para esta técnica, uno es de omisión y el otro de comisión. El error por omisión, predice los falsos negativos (la "no presencia" de una especie en donde en realidad si se encuentra) y el error por comisión, predice los falsos positivos (la "presencia" de la especie donde no está). La técnica de evaluación arrojada por MaxEnt se centra en detectar los errores de omisión o falsos negativos, que resultan ser muy criticables e inducen a una baja credibilidad.

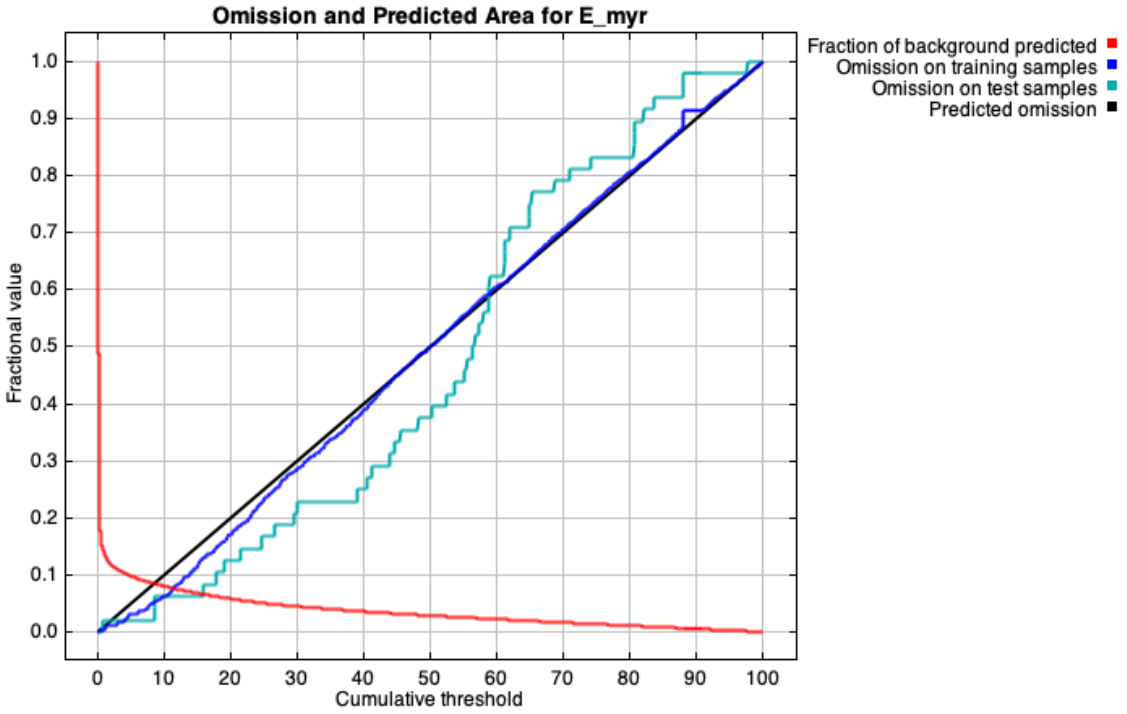
La grafica 3 nos muestra el resultado arrojado por MaxEnt sobre la tasa de omisión y el área pronosticada respecto al umbral acumulativo en el modelo de *E. myrtilloides*.

Como se observa, esta gráfica presenta cuatro tipos de líneas. Según Manuel Correia (2019) están representadas así:

- ✓ La línea roja (fraction of background predicted) representa las muestras aleatorias del área de estudio, incluyendo el área predicha usando diferentes umbrales acumulativos (*Cumulative thresholds*)
- ✓ La línea azul oscura representa la omisión de los datos de entrenamiento, es decir los puntos fuera del área potencial con base en el modelo MaxEnt por el valor *Cumulative thresholds*
- ✓ La línea negra representa las muestras de entrenamiento (*training samples*) (Puntos de presencia).
- ✓ La línea azul clara representa las muestras la omisión de los datos de prueba (*test samples*)

Se espera que las tasas de omisión calculadas sean cercanas a las tasas de omisión previstas (Flores & Fernández, 2018). La tasa de omisión de los datos de entrenamiento (línea azul oscuro) se encuentra cercana a los datos de omisión pronosticados (línea negra). Por lo tanto, se considera que las ocurrencias son independientes entre cada una de ellas. Si la línea azul estuviera muy por debajo de la línea negra (Predicted omission), es posible que el modelo se haya sobre-ajustado y esto se debe a la dependencia entre los puntos (Mejía & Abad, 2018). Se observa que la tasa de omisión de los puntos de prueba (azul claro) se encuentra cercana a los datos de omisión pronosticados, pero parcialmente se ubica encima de esta línea negra, dándonos a entender que los datos de prueba y los datos de entrenamiento se encuentran levemente correlacionados (Flores& Fernández, 2018). Un de las posibles razones puede se el patrón de agrupamiento que presentaban en algunas zonas estos registros. Sin embargo, se puede considerar que el modelo es apropiado.

Gráfico 3. Comportamiento de la omisión y el área pronosticada en función del umbral acumulado.



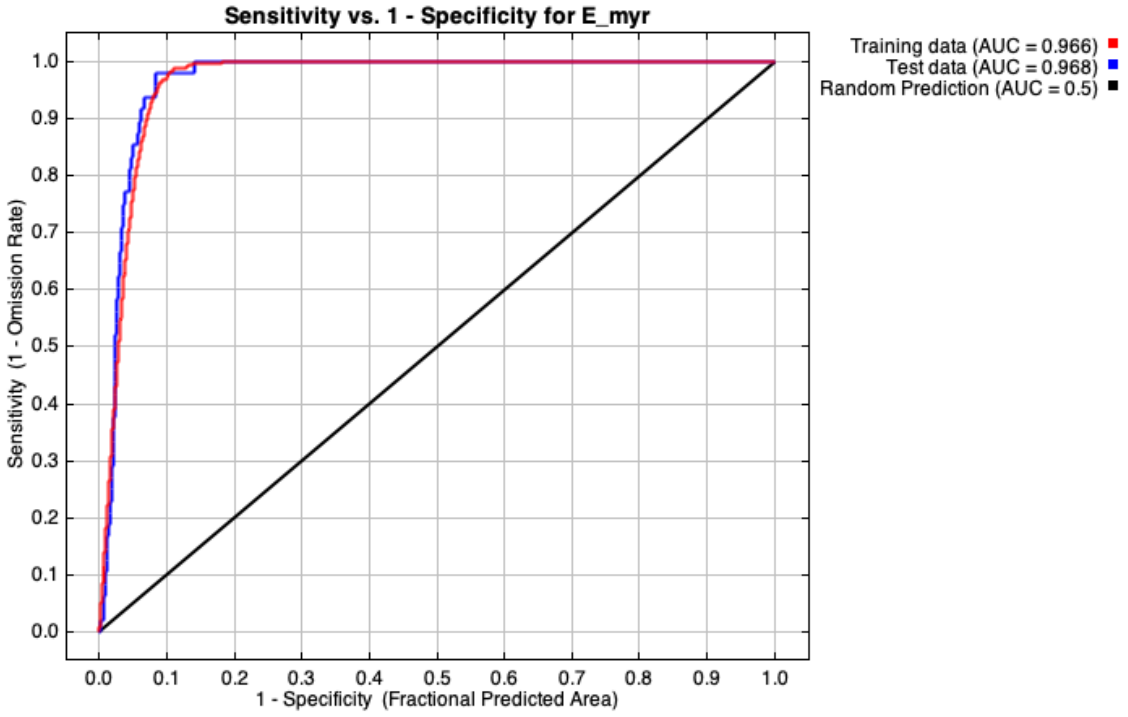
Una de las herramientas mas utilizadas para validar los modelos de distribución de especies es la curva ROC (*Receiver Operating Characteristic*) que describe la tasa de identificación correcta de presencias (*sensitivity,* en eje *y*) contra la tasa de falsas alarmas (1-*specificity,* en las *x*) (Correia,2019), es decir, mide la probabilidad de que seleccionando al azar una presencia y una ausencia, el modelo clasifique con un valor de idoneidad mayor a la presencia que a la ausencia (Blas, 2015). A su vez, la curva ROC da origen a él estadístico llamado AUC (*Area Under the Curve*), que es el área total bajo la curva roja. Esta, mide la probabilidad de que un punto de presencia seleccionado al azar tenga un valor de idoneidad más alto que el de un punto aleatorio seleccionado al azar (Blas,2015). De acuerdo a Araújo y Guisan (2006), una guía general para la clasificación de la precisión del modelo es: 0.50-0.60 = insuficiente; 0.60-0.70 = pobre; 0.70-0.80 = promedio; 0.80-0.90 = bueno; 0.90-1 = excelente.

Los resultados de la aplicación de la técnica ROC indicaron que el modelo es excelente, ya que el valor del cálculo del área bajo la curva (AUC) para los datos de entrenamiento (línea roja) y para los datos de prueba (línea azul) es de 0.966 y 0.968, respectivamente (Gráfico 4). De igual forma al emplear una clasificación aleatoria en los casos se obtuvo el valor máximo (0.5).

Según Hernández *et al.,* (2018), mientras ambas curvas (azul y roja) se sitúen lo más juntas posible, mejor es el ajuste del modelo, lo que indicaría que no habría ningún error de omisión. Claramente el valor siempre será menor que 1 porque siempre habrá puntos aleatorios sobre áreas idóneas. Por esta razón, las líneas no se ven completamente superpuestas. Sumado a esto, las líneas azul y roja serán idénticas si se usan los mismos datos de entrenamiento y prueba. (Muñoz, 2018). Como en este estudio se dividieron 90/10 respectivamente es normal que las líneas no se ajusten completamente, mostrando un AUC menor para los datos de entrenamiento (0.966) pero catalogado como un buen resultado.

La línea roja muestra el ajuste del modelo a los datos de entrenamiento y hace referencia a la capacidad que tiene para predecir (que tan cercano a la realidad se encuentra). La línea negra representa lo que se esperaría si el modelo no fuese mejor que el azar. En este caso la línea azul se encuentra por encima de la línea negra y cercana a la roja, indicando una muy buena capacidad predictiva del modelo.

Gráfico 4.La curva característica de funcionamiento del receptor (ROC).



Actualmente, el estadístico AUC presenta criticas metodológicas serias. Según Lobo et al., (2008) en teoría: primero, se requieren datos de ausencias verdaderas y no pseudoausensias. En el caso de que no se cuente con ausencias verdaderas, la abcisa de la ROC no es la proporción de "falsas alarmas", sino la proporción de área predicha por el modelo; segundo, asigna igual ponderación a los errores de omisión y comisión y tercero, (en la mayor parte de las versiones) presupone que el clasificador (algoritmo de modelación) genera todos los valores del rango [0,1]. Sin embargo, el área bajo la curva es aceptada como el mejor indicador para evaluar los resultados de la aplicación de los modelos utilizados en las últimas evaluaciones globales (Phillips & Miroslav, 2008).

4.3 Problemáticas actuales de los bosques montanos de los andes tropicales, ecosistema predominante de *E. myrtilloides* y áreas para su conservación.

Los bosques montanos, específicamente los húmedos albergan la mayor concentración de especies en un área de distribución limitada para América del Sur y manifestada en el numero de endemismos de flora y fauna (Kier *et al.* 2009). Esta gran riqueza es atribuida principalmente a tres factores históricos según Garavito *et al.,* (2012): 1. Levantamiento de las cordilleras andinas por procesos orogénicos, 2. El intercambio biótico con América del norte a través del istmo de Panamá y 3. Las fluctuaciones climáticas durante el Pleistoceno, dando lugar a la fragmentación y aislamiento de poblaciones que se especiaron y radiaron. Por esta razón, esta zona es considerada como uno de los "hotspots" de biodiversidad global y es una prioridad de conservación mundial (Myers et al. 2000).

Más de 20 000 especies de plantas son endémicas de los Andes tropicales (Calderón *et al.*, 2002) y a pesar de los inventarios de diversidad vegetal de cada país, se esta aun lejos de considerarlos completos (Garavito *et al.,* 2012). Por esta razón, Célleri & Feyen (2009) afirman que en la actualidad existen grandes vacíos en el conocimiento de los bosques montanos de los andes tropicales y las especies que los conforman en cuanto a: 1. Interacciones entre especies y su contribución al funcionamiento de los ecosistemas y 2. factores que determinan la vulnerabilidad de las especies, ya sea por asentamientos humanos y su relación frente a los efectos del cambio climático en estos bosques como, a características biológicas, ecológicas y fisiológicas. (Garavito *et al.,* 2012). Por tanto, es uno de los ecosistemas menos conocidos de los trópicos (Bubb *et al.,* 2004).

La degradación y perdida de estos bosques ha sido causado por múltiples factores a los que hoy en día siguen sometidos. Procesos tales como explotación, colonización, deforestación, fragmentación y extracción de recursos no maderables tienen su raíz en el crecimiento poblacional, la desigualdad social, el establecimiento de cultivos ilícitos, la apertura de nuevas vías de comunicación y el abuso en la expansión de actividades mineras, agropecuarias y extracción de gas. (Garavito *et al.,* 2012). Según un informe de la FAO (2012), la tasa de pérdida total por deforestación para Colombia es 6'418.000 ha de bosque entre los años 2005 y 2010 y aunque no son cifras específicas para bosques montanos muestran la enorme amenaza sobre estos ecosistemas.

La deforestación es uno de los más grandes retos ambientales y sociales que tiene Colombia. A pesar de que el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible y el IDEAM presentaron en julio de 2019 cifras que demuestran una reducción de este fenómeno del 10 % pasando de 219.973 hectáreas en 2017 a 197.155 en 2018, las cifras siguen siendo alarmantes. En este contexto, los bosques húmedos montanos y Paramos representando el 29% de la flora de todo el país ha perdido cerca del 70% de su área total para el 2017. (Instituto Humboldt & WWF, 2017).

Sin embargo, las investigaciones llevadas a cabo por algunos países, han permitido ampliar los conocimientos de este ecosistema y así, extender los esfuerzos de conservación. Estos esfuerzos en mayor medida van dirigidos entre otros ecosistemas a bosques nublados y Paramos (Sarmiento

y Frolich 2002; Young y León 2007), no solo por el alto nivel de endemicidad sino por su importancia para la provisión de agua en toda la región Andina. (Bradley et al. 2006).

Para Colombia, esta es una necesidad inminente siendo unos de los países mas ricos en diversidad biológica y cultural. Por esta razón el Sistema de Parques Nacionales Naturales (SPNN) gestiona zonas prioritarias de conservación. Para el 2020, la superficie total marina y terrestre de estas zonas equivale a 142.682 km2, donde 11,27% constituye el área continental y 1,5% el área marina. 26 de estas áreas tienen presencia de comunidades indígenas y afro descendientes (SPNN, 2020).

Para determinar el área potencial de *E. myrtilloides* presente en zonas de reserva del país, se obtuvo un mapa en formato ráster disponible en el catálogo de mapas del Sistema de Información Ambiental de Colombia (SIAC) que se visualizó por medio del software QGIS 3.10. Aquí cada una de las áreas se delimito y se obtuvo su área en km^2, dividiendo el valor arrojado (m^2) sobre 100000. Junto a la capa ráster del SPNN se proyecto el área potencial de la especie y se calculó el área solapada.

Como resultado se obtuvo que, el área total en Colombia de Parques Nacionales Naturales reportado por el SIAC, equivale a 139.767 Km^2. El 43% de los Parques Nacionales Naturales presenta un área potencial para la especie de 11.844 Km^2. Esto equivale al 21% del área total potencial para Colombia.

Tabla 2 Área potencial total dentro del SPNN

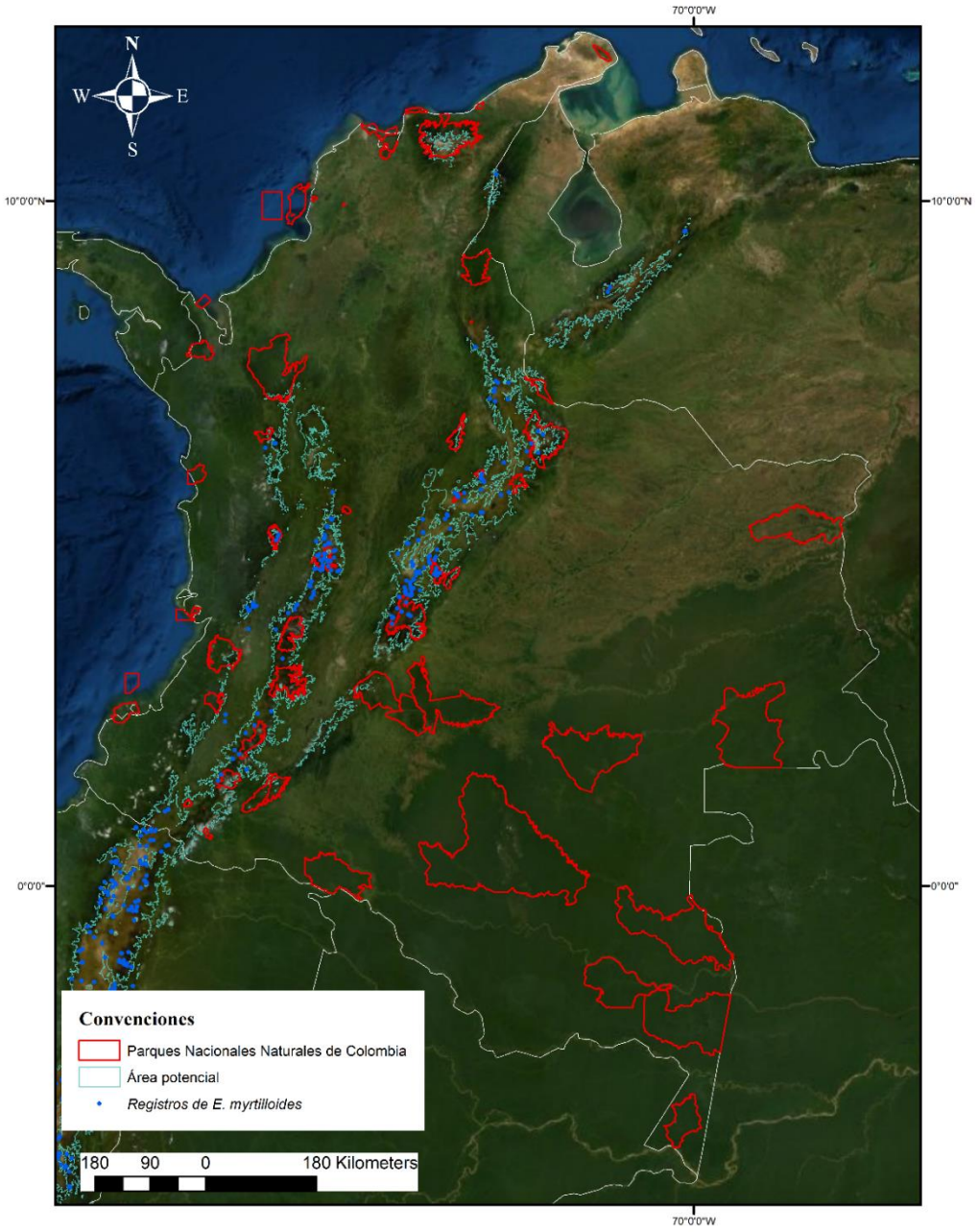
PARQUE NACIONAL	ÀREA TOTAL PARQUE (Km^2)	ÀREA POTENCIAL (Km^2)	AREA %
Sierra Nevada de Santa Marta		1605	13,6
Paramillo Montería	5323	239	2,0
Tama	515	220	1,9
Serranía de los Yariguíes	597	235	2,0
El Cocuy	3073	1288	10,9
Pisba	368	335	2,8
Iguaque	69	62	0,5
Tatamá	435	225	1,9
Los Nevados	621	595	5,0
Sumapaz	2232	2015	17,0
Guanentá- Alto rio Fonce	103	30	0,3
Cordillera los Picachos	2882	104	0,9
Chingaza	783	517	4,4
Las Hermosas-Gloria Valencia de Castaño	1249	1249	10,5
Los Farallones de Cali	1978	316	2,7
Nevado del Huila	1659	1450	12,2
Puracé	899	887	7,5
Complejo volcánico Doña Juana Cascabel	659	55	0,5
Alto Fragua-Indiwasi	760	66	0,6

Serranía de los Churumbelos	972	180	1,5
Galeras	82	76	0,6
Plantas medicinales orito ingiande	102	55	0,5
Santuario de Fauna y Flora Galeras	103	40	0,3
TOTAL, AREA POTENCIAL		11844	100

Los parques Nacionales Naturales que mayor área potencial albergan de la especie es Sumapaz (17%), Sierra Nevada de Santa Marta (13,6 %), Nevado del Huila (12,2 %), El Cocuy (10,9 %) y Las Hermosas-Gloria Valencia de Castaño (12,2 %).

Estas áreas se pueden visualizar en el Mapa de Parques Nacionales y área potencial de *E. myrtilloides* (Figura 12).

Figura 12.Mapa de Parques Nacionales Naturales y área potencial de *E. myrtilloides*



Estos cinco parques, tomados en cuenta por el área potencial que presentan varían significativamente respecto a la altitud, temperatura, disponibilidad de nutrientes del suelo y precipitaciones en toda el área, sin embargo, todos presentan una transición de ecosistemas de Páramo, subpáramo y bosque Andino que favorecen la distribución de la especie.

El área total fuera de áreas protegidas equivale a 42.490 km^2, es decir un 78,2 % respecto a la distribución potencial total de Colombia. Esto ubica a la especie en una situación de vulnerabilidad a nivel local primero; siendo empleada tradicionalmente por su madera en labores de ebanistería, creación de postes, vigas y pequeñas construcciones (Minga & Verdugo, 2017) y segundo, en la intervención de sus procesos de propagación, utilizando las flores culturalmente como resina en la preparación de bebidas que curan las molestias del parto (Montesinos, 1996). Estas acciones realizadas bajo ninguna regulación, se debe entre otros factores a la falta de información presente de la especie que, actualmente el estado de conservación no está evaluado (Bernal, Gradstein & Celis, 2019). Además de esto, a nivel nacional la degradación de sus ecosistemas como bosques altoandinos y paramos se reducen a diario a escalas preocupantes debido a actividades agropecuarias, deforestación con introducción de especies exóticas y minería (Alarcón *et al.,* 2002).

Debido a esto, es una necesidad aportar investigaciones desde distintos ámbitos en la Biología, que contribuyan a la conservación de *E. myrtilloides*, importante en procesos de restauración ecológica al tener un efecto positivo sobre el crecimiento, supervivencia, desarrollo, estructura, organización y dinámica de otras comunidades vegetales. (Cabrera & Ramírez, 1994), es esencial en la protección de márgenes hídricos, pantanos y recuperación de bosques de ladera en páramos húmedos (MAVDT, 2003) y da refugio a especies de fauna y flora. Cabe decir que las variables climáticas explicaron de manera razonable la distribución de la especie a gran escala, sin embargo, es pertinente realizar modelos proyectados a 20 o 50 años según el cambio climático. A su vez, aplicar estudios enfocados a escalas más pequeñas dentro del nicho ecológico de la especie.

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- *Escallonia myrtilloides* presenta un área de distribución total desde Costa Rica hasta Bolivia entre los 1.500 y 4.100 m.s.n.m principalmente en subpáramos y bosques húmedos montanos de los Andes Tropicales. Su área potencial equivale a 128.383 km2 desde México hasta el norte de Chile. Los países que mayor área potencial albergan son Colombia con 54.334 km^2 (42,3%), Ecuador con 42.597 km^2 (33,1%) y Perú con 17.734 km^2 (13,8%). Aquí, los factores determinantes en esta distribución fueron los valores de temperatura que condicionan los altos niveles de humedad necesarios para la especie y la altitud.

- Para México, Honduras, Guatemala y Chile se obtuvo un área potencial total de 5.702 km^2 (4,3%), área en donde no se obtuvieron registros de presencia, sin embargo, se recomienda corroborar esta información con datos georreferenciados en campo. Zonas de estudio propuestas: México (Chilpancingo, Chicihualco, Pueblo viejo, Atoyac de Alvares, Oaxaca, Miahuatlan), Guatemala (Reserva de la biosfera Sierra de las Minas, Mataquescuintla, y zonas aledañas a Totonicapán, Huehuetenango), Honduras (Parque Nacional Celaque) y Chile (Paraque Nacional Llullaillaco).

- Se afirma que la zona denominada "diagonal árida" es una barrera climática desde el Norte de Perú hasta las costas Patagónicas, al interrumpir el área potencial de *E. myrtilloides*, especie con altos requerimientos de humedad, temperaturas tolerables máximas de 17ºC y precipitaciones anuales entre 1000 a 4000 mm. En esta zona árida,

por el contrario, las bajas precipitaciones <500 mm y altas temperaturas determinan la ausencia de la especie en la mayor parte de los Andes Centrales.

- Actualmente el estado de conservación de la especie no se encuentra evaluado, sin embargo, sus usos locales y la fragmentación de sus hábitats debido a actividades agropecuarias, deforestación con introducción de especies exóticas y minería ponen en riesgo la vulnerabilidad de la misma. Para Colombia, tan solo el 21% de área potencial total se encuentra en el SPNN, dejando fuera el 78,2% del área, una cifra que pone a consideración los usos indiscriminados y poco regulados por parte de las comunidades aledañas a su distribución.

- Al modelar la distribución de una especie de subpáramo y Paramo propiamente dicho, como lo es *Escallonia myrtilloides*, es importante incluir variables de suelo que nos ayuden a comprender con mayor profundidad la relación de la distribución con la tolerancia a estos, usualmente ácidos, con pocos minerales y capas gruesas de materia orgánica. Estas capas se encuentran disponibles para descarga a través del portal SoilGrid, con una resolución espacial de 250 m. Este sistema de mapeo digital, a pesar de que nos permite evaluar diferentes factores presentes en el suelo a través capas, presenta una limitación al momento de hacer estudios proyectados a futuro (incluida la variable altura), lo que no sucede con las capas climáticas.

- Al modelar la distribución de *E. myrtilloides*, especie nativa de los Andes tropicales con capas climáticas obtenidas del portal WolrClim, se obtuvieron resultados óptimos, con un modelo bueno a excelente según el estadístico AUC. Sin embargo, para obtener resultados más óptimos según el área de estudio, se recomienda trabajar con las capas climáticas Chelsea, especificas para los Andes tropicales.

6. REFERENCIAS

- Alarcón, J.C., C. Barbosa, S. Cruz, S.P Ramírez, F. Salazar, J. Ville y A. Villa (2002). Transformaciones de las coberturas vegetales en los Páramos de Colombia: un punto de partida para la evaluación ambiental. En Castaño-Uribe, C. (Ed). Páramos y Ecosistemas Alto Andinos de Colombia en condiciones Hot Spot & Global Climatic Tensor. Bogotá, Colombia:211-222.

- Anderson R.P., Lew D. y Peterson A.T. (2003). Evaluating predictive models of species' distributions: criteria for selecting optimal models. Ecological Modelling 162:211-232.

- Anderson, GJ, Bernardello, G., Stuessy, TF y Crawford, DJ (2001). Sistema de mejoramiento y polinización de plantas seleccionadas endémicas de las islas Juan Fernández. *American Journal of Botany* , *88* (2), 220-233.

- Andressen, R., Robock, A., & Acevedo, M. (1996). Escenarios de cambio climático por efecto invernadero y deforestación para Venezuela. *Revista Geográfica Venezolana*, *37*(2), 221-250.

- APG IV. (2016). An update of the Angiosperm Phylogeny Group classification for the orders and families of flowering plants. APG IV. Botanical Journal of the Linnean Society 181: 1-20

- Araújo M.B. y Guisan A. (2006). Five (or so) challenges for species distribution modeling. Journal of Biogeography 33:1677-1688.

- Ataroff M., Sarmiento L. (2003). Diversidad de los Andes de Venezuela. Mapa de Unidades Ecológicas del Estado de Mérida. CD-ROM. Ediciones Instituto de Ciencias Ambientales y Ecológicas (ICAE), Universidad de Los Andes. Mérida, Venezuela: Universidad de los Andes, Mérida.

- Austin, M.P., Nicholls, A.O. & Margules, C.R. (1990).Measurement of the realized qualitative niche: environmental niches of five Eucalyptus species. Ecol. Monogr.60: 161-177.

- Barrero Barrero, D., Camelo Salamanca, D., Ovalle Escobar, A., Rozo Fernández, A., & Mahecha Vega, G. E. (2012). *Vegetación del territorio CAR: 450 especies de sus llanuras y montañas.*

- Bello, M. A. (2007). Flora Genérica De Los Páramos: Guía Ilustrada De Las Plantas Vasculares. Memoirs of the New York Botanical Garden, Volume 92.

- Bernal, R., Gradstein, S., & Celis, M. (eds.). (2019). Catálogo de plantas y líquenes de Colombia. Instituto de Ciencias Naturales. Universidad Nacional de Colombia, Bogotá: http://catalogoplantasdecolombia.unal.edu.co

- Blas, M. Benito. (2015). IX Taller GBIF de Modelización de Nichos Ecológicos, Aprendiendo a modelizar. Nodo Nacional de Información en Biodiversidad, Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC). Ministerio Español de Ciencia e Innovación.

- Brown JH, Stevens GC, Kaufman DM. (1996). The geographic range: size, shape, boundaries, and internal structure. Annu Rev Ecol Syst. 27:597-623

- Bruijnzeel L. A. (2001). "Hydrology of tropical montane cloud forests: A reassessment". Land Use and Water Resources Research 1: 1.1-1.8.

- Bruniard, E. D. (1982). La diagonal árida argentina: un límite climático real. *Revista Geográfica*, (95), 5-20.

- Bubb, P., May, I., Miles, L., Sayer, J. (2004). Cloud Forest Agenda. UNEP-WCMC. Cambridge, UK.

- Buytaert W., Célleri R., De Bièvre B., Cisneros F., Wyseure G., Deckers J., Hofstede R. (2006) . Human impact on the hydrology of the Andean páramos. EarthScience Reviews 79: 53–72

- Cabrera, M., & Ramírez, W. (Eds.). (2014). *Restauración ecológica de los páramos de Colombia: Transformación y herramientas para su conservación*. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt.

- Calderón, E., Galeano, G., García, N. (2002). Libro Rojo de Plantas Fanerógamas de Colombia. Instituto Alexander von Humboldt, Instituto de Ciencias Naturales-Universidad Nacional de Colombia, Ministerio del Medio Ambiente., Bogotá, Colombia.

- CAR. Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca (2009). Términos de referencia para restaurar áreas protegidas en la jurisdicción de la Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca. Disponible en : http://www.car.gov.co/documentos/4_19_2010_11_53_19_AM_TDR%20Restauaci%C3%B3n%20AREAS%20Profe.pdf

- Cárdenas L., D. & Salinas, N.R. (eds.) 2007. *Libro rojo de plantas de Colombia*. Volumen 4. Especies maderables amenazadas: Primera parte. Serie Libros rojos de especies amenazadas de Colombia. Bogotá, Colombia. Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas SINCHI – Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. 232 pp.

- Cárdenas, D., Arboleda, N. C., Tunjano, S. S., Barrera, L. Q., Rodríguez, M. B., Rodríguez, S. G. & Peinado, Á. J. V. (2015). Planes de manejo para la conservación de abarco, caoba, cedro, palorosa y canelo de los andaquíes. Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas, SINCHI.

- Cárdenas, D., Castaño, N., Sua, S., Montero, M., & Ruiz, L. (2011). Evaluación de la distribución potencial actual en Colombia del Cedro (Cedrela odorata) y el Cocobolo (Dalbergia retusa), especies incluidas en apéndices CITES y recomendaciones para el manejo In Situ de sus poblaciones. SINCHI, CITES & Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial

- Célleri, R., Feyen, J. (2009). The Hydrology of Tropical Andean Ecosystems: Importance, Knowledge Status, and Perspectives. Mountain Research and Development 29:350-355.

- CFVA. Catálogo de Flora del Valle de Aburrá (2014). Características de Escallonia myrtilloides. Grupo de Investigación, Sostenibilidad , Infraestructura y Territorio. Universidad EIA. Consultado el 22 de septiembre 2019. Disponible en: https://catalogofloravalleaburra.eia.edu.co/

- Cleef A. (1981). The Vegetation of the Paramos of the Colombian Cordillera Oriental. Dissertationes Botanicae 61. 1–320.

- CLIMATE-DATA.ORG. Portal de datos climáticos mundiales. Consultado 8 de marzo 2020. Disponible https://es.climate-data.org/

- Concepción, P.G. (2017). Indicadores de cambio climático para la evaluación de los impactos sobre las precipitaciones en el municipio de Majagua. Tesis presentada en opción al título de Ingeniero Hidráulico. Departamento de Ingeniería Hidráulica. Universidad de Ciego de Ávila. Cuba.

- Correia, M. (2019). Criterios confiables para la construcción del modelo de máxima entropía (MaxEnt) orientados a la pesquería con red de cerco en el Pacífico Oriental. OFA, Convivencia Pesquera. Versión digitalizada de boletines de COFA.

- Cuesta, F., Muriel, P., Beck, S., Meneses, R. I., Halloy, S., Salgado, S., ... & Becerra, M. T. (2012). Biodiversidad y cambio climático en los Andes tropicales. *Conformación de una red de investigación para monitorear sus impactos y delinear acciones de adaptación. Red Gloria-Andes, CONDESAN, Lima-Quito*.

- Cuesta, F., Peralvo, M., Valarezo, N., & ECOBONA-Intercooperation, P. R. (2009). *Los bosques montanos de los Andes Tropicales*. Programa Regional ECOBONA-Intercooperation.

- Elith J, Graham CH, Anderson RP, Dudík M, Ferrier S, Guisan A, *et al*. (2006). Novel methods improve prediction of species' distributions from occurrence data. Ecography;29(2):129-151.

- ELITH, J; SJ PHILLIPS; T HASTIE; M DUDÍK; YE CHEE1; ET AL. (2011). A statistical explanation of MaxEnt for ecologists. Diversity and Distributions, 17:43-57.

- FAO (2010). Global Forest Resources Assessment 2010. FAO. Rome, Italy. Disponible en: http://www.fao.org/forestry/fra/fra2010/en

- Farr, T. G., et al. (2007), The Shuttle Radar Topography Mission, Rev. Geophys., 45, RG2004, doi:10.1029/2005RG000183.

- Fawcett, T. (2006). Una introducción al análisis ROC. *Letras de reconocimiento de patrones*, *27* (8), 861-874.

- Fernández Eguiarte, A., Romero Centeno, R., & Zavala Hidalgo, J. (2014). Metodologías empleadas en el Atlas Climático Digital de México para la generación de mapas de alta resolución. *GeoActa*, *39*(1).

- Flores-Zamarripa, F. J., & Fernández, J. A. (2018). Predictive species distribution model of two endemic kangaroo rats from Mexico: Dipodomys ornatus and D. phillipsii (Rodentia: Heteromyidae). *Therya*, *9*(3), 237-246.

- Fundación Cerros de Bogotá. (2009). Obtenido de https://www.cerrosdebogota.org.

- Garavito, N. T., Álvarez, E., Caro, S. A., Murakami, A. A., Blundo, C., Espinoza, T. B., ... & León, B. (2012). Evaluación del estado de conservación de los bosques montanos en los Andes tropicales. *Revista Ecosistemas*, *21*(1-2).

- Gargiullo, M., & Magnuson, B. (2008). *A field guide to plants of Costa Rica*. Oxford University Press.

- GAUBERT P, M PAPES & AT PETERSON (2006) Natural history collections and the conservation of poorly known taxa: Ecological niche modeling in central African rainforest genets (*Genetta* spp.). Biological Conservation 130: 106-117

- Gibbon JW, David ES, Travis JR, Kurt AB, Tracey DT, Brian SM, et al. (2000). The global decline of reptiles, déjà vuamphibians. BioScience;50(8):653–666.

- GUISAN, A & NE ZIMMERMANN. (2000). Predictive habitat distribution models in ecology. Ecol. Model., 135:147-86.

- GURALNICK P, AW HIL & M LANE (2007) Towards a collaborative, global infrastructure for biodiversity assessment. Ecology Letters 10: 663-672.

- Hernández Ramos, J., Reynoso Santos, R., Hernández Ramos, A., García Cuevas, X., Hernández-Máximo, E., Uicab, C., ... & Sumano López, D. (2018). Distribución histórica, actual y futura de Cedrela odorata en México. *Acta botánica mexicana*, (124), 0-0.

- Herzog, S. K., Martinez, R., Jørgensen, P. M., & Tiessen, H. (2012). Cambio climático y biodiversidad en los Andes tropicales. *Inter-American institute for Global Change Research (IAI) and Scientific Committee on Problems of the Enviroment (SCOPE). 348pp*.

- 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*, vol. 25, p. 1965-1978.

- HOPKINS MJG (2007) Modelling the known and unknown plant biodiversity of the Amazon Basin. Journal of Biogeography 34: 1400-1411.

- Ihlow F, Dambach J, Engler JO, Flecks M, Hartmann T,Nekum S, et al. (2012). On the brink of extinction? How climatechange may affect global chelonian species richness anddistribution. Glob Chang Bio;18(5):1520-1530.

- Instituto Alexander von Humboldt (2017). WWF. EL RETO DE LA DEFORESTACIÓN EN COLOMBIA: DOCUMENTO RESUMEN DE POLÍTICA.Reproducido con la autorización de WWF Centroamérica © 2000. Todos los derechos reservados. Si usted está interesado en reproducir algún texto, por favor contactar a: info@wwfca.org

- KADMON, R.; FARBER, O. & DANIN, A. (2003). A systematic analysis of factors affecting the performance of climatic envelope models. *Ecological Applications*, vol. 13, p. 853-867.

- Kier, G., Kreft, H., Lee, T.M., Jetz, W., Ibisch, P.L., Nowicki, C., Mutke, J., Barthlott, W. (2009). A global assessment of endemism and species richness across island and mainland regions. Proceedings of the National Academy of Sciences 106:9322-9327.

- Körner C. (2005). The Green Cover of Mountains in a Changing Environment. En: Huber U. M., Bugmann H. K. M. y Reasoner M. A. (eds.). Global Change and Mountain Regions. Dordrecht, The Netherlands: Springer.

- Liu, C., Berry, P. M., Dawson, T. P., & Pearson, R. G. (2005). Selecting thresholds of occurrence in the prediction of species distributions. *Ecography*, *28*(3), 385-393.

- LOARIE SR, PB DUFFY, H HAMILTON, GP ASNER, CB FIELD et al. (2009) The velocity of climate change. Nature 462: 1052-1055

- Lobo, J. M., Jiménez-Valverde, A., & Real, R. (2008). AUC: a misleading measure of the performance of predictive distribution models. *Global ecology and Biogeography*, *17*(2), 145-151.

- Mancini, M. V., Paez, M. M., Prieto, A. R., Stutz, S., Tonello, M., & Vilanova, I. (2005). Mid-Holocene climatic variability reconstruction from pollen records (32–52 S, Argentina). *Quaternary international*, *132*(1), 47-59.

- Martínez-Nieto, P., & García-González, D. G. (2010). Bacterias diazotroficas y solubilizadoras de fósforo aisladas de las especies forestales altoandinas colombianas Weinmannia tomentosa y Escallonia myrtilloides. *Intropica*, 63-76.

- Mateo, R. G., Felicísimo, Á. M., & Muñoz, J. (2011). Modelos de distribución de especies y su potencialidad como recurso educativo interdisciplinar. *Reduca (Biología)*, *5*(1).

- MAVDT. Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial (2003). Restauración de Ecosistemas a partir del manejo de Vegetación. Guía metodológica. Grupo de Ecosistemas Forestales, Bogotá, 98 p. Disponible en http://ibcperu.org/doc/isis/7413.pdf

- MÉDAIL F & K DIADEMA (2009) Glacial refugia influence plant diversity patterns in the Mediterranean Basin. Journal of Biogeography 36: 1-19.

- Mejía, D., Tonón, M., & Abad, L. (2018). Distribución potencial del género Polylepis en la Cuenca del río Paute bajo un escenario de cambio climático Potential distribution of

the genus Polylepis in the Paute river basin under a climate change scenario. *Revista de la Facultad de Ciencias Químicas● ISSN*, (19).

- Merow C, Smith MJ, Silander JA. (2013). A practical guide to MaxEnt for modeling species' distributions: what it does, and why inputs and settings matter. Ecography;36(10): 1058-1069

- Mezaour A. (2005). Filtering Web Documents for a Thematic Warehouse Case Study: eDot a Food Risk Data Warehouse (extended) en: Intelligent information processing and web mining. Laboratoire de Recherche en Informatique (LRI), Université Paris Sud, France.

- Minga, D., & Verdugo, A. (2017). Árboles y arbustos de los ríos de Cuenca Azuay-Ecuador. *Don Bosco, Vol. 1). Azuay-Ecuador*.

- Montesinos, F. S. (1996). *Árboles y arbustos del Bosque de Mazán*. ETAPA.

- Morello, S., Giussani, L. M., & Sede, S. M. (2013). Análisis preliminar de la variabilidad genética de Escallonia alpina y E. rubra (Escalloniaceae). *Darwiniana, nueva serie*, *1*(2), 227-236.

- Mujica Barreda, E. and Holle M. (1998). Los Andes y la transformación cultural del paisaje. In E. Mujica Barreda ed. Paisajes culturales en los Andes. Arequipa, Perú: UNESCO, p. 65-79.

- Muñoz-Reja Mora, L. M. (2018). *Elaboración de un modelo predictivo de distribución potencial del cultivo chenopodium quinoa willd. Basado en necesidades edafoclimáticas con objeto de determinar las zonas de correcta adaptación en Extremadura* (Master's thesis).

- Myers, N., Mittermeier R. A., Mittermeier C. G., Da Fonseca G. A. B., et al. (2000). "Biodiversity hotspots for conservation priorities" Nature, 403(6772), 853-858.

- Myers, N., Mittermeier, R.A., Mittermeier, C.G., da Fonseca, G.A., Kent, J. (2000). Biodiversity hotspots for conservation priorities. Nature 403:853-858.
- Nieves, V. A., & Pérez, A. F. (2016). Evaluación del impacto del cambio climático en los bosques de los Andes del Norte y centro. *Geo Focus. Revista Internacional de Ciencia y Tecnología de la Información Geográfica*, (17), 44-65.

- Nix, H., (1986). A biogeographic analysis of Australian elapid snakes. Atlas of Elapid Snakes of Australia. Australian Government Publishing Service, Canberra, Australia, 4–15

- OPEPA. (2019). Organización para la Educación y Protección Ambiental; consulta: septiembre, 2019.

- Ortiz, M. A. D. G., González, J. D. N., & López, T. S. (2005). Páramos: hidrosistemas sensibles. *Revista de ingeniería*, (22), 64-75.

- Ortíz-Yusty, C., Restrepo, A., & Páez, V. P. (2014). Distribución potencial de Podocnemis lewyana (Reptilia: Podocnemididae) y su posible fluctuación bajo escenarios de cambio climático global. *Acta Biológica Colombiana*, *19*(3), 471-481.

- Pancel L. (2016) Species Files in Tropical Forestry. In: Pancel L., Köhl M. (eds) Tropical Forestry Handbook. Springer, Berlin, Heidelberg

- Parra, J. L., Graham, C. C. and Freile, J. F. (2004). Evaluating alternative data sets for ecological niche models of birds in the Andes. Ecography 27: 350–360.

- Pearson R. G. (2007).Species ´Distribution Modeling for Conservation Educators and Practitioners.Disponible en http://ncep.amnh.org. American Museum of Natural History. Consultado en 15 de febrero de 2010.

- Pearson RG, Dawson TP (2003). Predicting the impacts of climate change on the distribution of species: ¿are bioclimate envelope models useful? Global Ecol Biogeogr. 2003; 12:361-371

- Peterson AT. (2006). Uses and requirements of ecological niche models and related distributional models. Biodiversity Informatics; 3:59-72

- Phillips, S.J. & D. Miroslav. (2008). Modeling of species distributions whit Maxent: new estensions and a comprehensive evaluation. Ecography 31: 161-175.

- PHILLIPS, SJ; RP ANDERSON & RE SCHAPIRE. (2006). A maximum entropy modelling of species geographic distributions. Ecological Modelling, 190:231-259.

- Pliscoff, P., & Fuentes-Castillo, T. (2011). Modelación de la distribución de especies y ecosistemas en el tiempo y en el espacio: una revisión de las nuevas herramientas y enfoques disponibles. *Revista de Geografía Norte Grande*, (48), 61-plis.

- Realpe (2009). Diversidad del género Ischnura (Odonata: Coenagrionidae) y su relación con la altitud y orogenia de la cordillera Oriental-Andes colombianos (Doctoral dissertation, Bogotá-Uniandes).

- REDDY S & LM DÁVALOS (2003) Geographical sampling bias and its implications for conservation priorities in Africa. Journal of Biogeography 30: 1719-1727.

- Reguerin, Lopez, I. Marcelo. (2014). *Distribución potencial de especies de la familia araliaceae de la región Madidi* (Doctoral dissertation).

- Rivera, O. D. (2001). Páramos de Colombia. Banco de Occidente. *Cali. Colombia*.

- Romoleroux, K., Cárate-Tandalla, D., Erler, R., Navarrete, H. 2019. Escallonia myrtilloides En: Plantas vasculares de los bosques de Polylepis en los páramos de Oyacachi. Version 2019.0 <https://bioweb.bio/floraweb/polylepis/FichaEspecie/Escallonia%20myrtilloides>, acceso Sábado, 28 de Septiembre de 2019.

- Rozzi, R., Armesto, J. J., & Figueroa, J. (1994). Biodiversidad y conservación de los bosques nativos de Chile: una aproximación jerárquica. *Bosque*, *15*(2), 55-64.

- Ruiz de Larramendi Fortún, M. (2017). Diseño de metodología y desarrollo de recursos para la modelización de especies exóticas invasoras; análisis de su aplicabilidad en el caso de Vespa velutina.

- Rushton, S. P.; Ormerod, S.J. y Kerby, G. (2004). New paradigms for modelling species distributions? Journal of Applied Ecology, 41:193–200.

- Stockwell, D.R.B., Noble, I.R., (1992). Induction of sets of rules from animal distribution data: a robust and informative method of data analysis. Math. Comput. Simul. 33, 385–390.

- TARKESH, M & G JETSCHKE. (2012). Comparison of six correlative models in predictive vegetation mapping on a local scale. Environmental and Ecological Statistics, 19:437-457.

- Tobón C., and Arroyave F. P. (2007). "Imputs by fog and horizontal precipitation to the páramo ecosystems and their contribution to the water balance". Proceedings of the fourth international conference of fog, fog collection and dew. July 22-27, 2007. La Serena, Chile, pp. 233-236.

- Tognelli, MF; SA Roig-Juñent; AE Marvaldi; GE Flores & JM Lobo. (2009). An evaluation of methods for modelling distribution of Patagonian insects. Revista Chilena de Historia Natural, 82:347-360

- Torres, R., & Jayat, J. P. (2010). Modelos predictivos de distribución para cuatro especies de mamíferos (Cingulata, Artiodactyla y Rodentia) típicas del Chaco en Argentina. *Mastozoología neotropical*, *17*(2), 335-352.

- Vargas W. (2002). Guía ilustrada de las plantas de las montañas del Quindío y los Andes Centrales. Primera edición. Editorial Universidad de Caldas. Manizales Colombia. p814.

- Vargas, B., Katherine, L., Guzmán, V., & Andrea, J. (2008). Estructura Poblacional De Las Especies Cedrela Montana Y Cedrela Odorata Presentes En La Jurisdicción De Corpoguavio.

- Villaseñor J.L. y Magaña P. (2006). Plantas introducidas en México. Ciencias 82:38-40

- WISZ, M. S.; HIJMANS, R. J.; LI, J.; PETERSON, A. T.; GRAHAM, C. H. & GUISAN, A. NCEAS (2008). Predicting Species Distributions Working Group. Effects of sample size on the performance of species distribution models. *Diversity and Distributions*, vol. 14, p. 763-773.