

# Global trends in tree species distribution modeling

## Tendencias mundiales en el modelado de la distribución de especies arbóreas

Dulce María Pozo-Gómez<sup>1</sup>; Carolina Orantes-García<sup>1\*</sup>; María Silvia Sánchez-Cortés<sup>1</sup>; Tamara Rioja-Paradela; Arturo Carrillo-Reyes<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Universidad de Ciencias y Artes de Chiapas, Instituto de Ciencias Biológicas, Programa de Doctorado en Ciencias en Biodiversidad y Conservación de Ecosistemas Tropicales. Libramiento Norte Poniente núm. 1155, col. Lajas Maciel. C. P. 29039. Chiapas, México.

<sup>2</sup>Universidad de Ciencias y Artes de Chiapas, Facultad de Ingeniería. Libramiento Norte Poniente núm. 1155, col. Lajas Maciel. C. P. 29039. Chiapas, México.

\*Corresponding author: carolina.orantes@unicach.mx; tel.: +52 961 142 1493.

### Abstract

**Introduction:** In recent years, species distribution modeling, a technique that allows studying the distribution of organisms in each space, has become widespread.

**Objectives:** This study aims to analyze global trends of tree species distribution modeling in the period 1990-2022, by reviewing the scientific literature.

**Materials and methods:** We analyzed 250 studies published in 233 scientific articles, 10 book chapters and seven theses, which were consulted in specialized databases.

**Results and discussion:** The study variables were analyzed by correlational analysis in 78.4 % of the cases. In 48 countries, the number of studies increased during the last decade; China was the country with the most studies (21.7 %). The analysis included a total of 36 families, 69 genera and 163 species; *Pinus pinceana* (2.8 %) has been the most studied. The most used model/algorithm for the analysis of species distribution modeling was MaxEnt (72.8 %) and, finally, the variables used were 65, where the one with the highest use was precipitation (4.8 %).

**Keywords:** *Pinus pinceana*;  
MaxEnt; precipitation;  
climate change;  
correlative models.

**Conclusions:** Tree species distribution modeling should be considered a useful tool for forecasting the potential impacts of climate change. The performance of the modeling will depend on the technique used, as well as on its interpretation, which should be made according to the species and its habitat.

### Resumen

**Introducción:** En los últimos años se ha generalizado el uso de modelos de distribución de especies, una técnica que permite estudiar la distribución de organismos en un espacio determinado.

**Objetivos:** Analizar las tendencias mundiales de estudio de los modelos de distribución de especies arbóreas en el periodo 1990-2022, a través de la revisión de literatura científica.

**Materiales y métodos:** Se analizaron 250 estudios publicados en 233 artículos científicos, 10 capítulos de libros y siete tesis, que se consultaron en bases de datos especializadas.

**Resultados y discusión:** Los variables de estudio en las investigaciones se analizaron mediante análisis correlativos en 78.4 % de los casos. En 48 países, el número de investigaciones aumentó durante la última década; China fue el país con más estudios (21.7 %). El análisis incluyó un total de 36 familias, 69 géneros y 163 especies; *Pinus pinceana* (2.8 %) ha sido la más estudiada. El modelo/algorithm más utilizado para el análisis de los modelos de distribución de especies fue MaxEnt (72.8 %) y, finalmente, las variables utilizadas fueron 65, donde la de mayor uso fue la precipitación (4.8 %).

**Palabras clave:** *Pinus pinceana*;  
MaxEnt;  
precipitación; cambio  
climático; modelos  
correlativos.

**Conclusiones:** Los modelos de distribución de especies arbóreas deben considerarse una herramienta útil para la previsión de los impactos potenciales del cambio climático. El rendimiento del modelado dependerá de la técnica empleada, así como de su interpretación, la cual debe hacerse en función de la especie y su hábitat.

## Introduction

The distribution of species, communities and populations depends on environmental, ecological and even social factors (Leal-Nares et al., 2012). Some tree species are distributed in particular environments; for example, *Rhizophora mangle* L. (red mangrove) inhabits exclusively aquatic environments (Barrantes-Leiva & Cerdas-Salas, 2015); other taxa preferentially inhabit temperate mountainous climates, as the case of the genera *Pinus* (Barrantes-Leiva & Cerdas-Salas, 2015; Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad [CONABIO], 2022) and *Quercus* (CONABIO, 2022; Maciel-Mata et al., 2015). On the other hand, some are predominant in arid climates, as is the case of most of the species of the *Prosopis* genus (Maciel-Mata et al., 2015). Thus, the distribution area of each species is restricted due to its environmental tolerance, a product of evolutionary processes that have shaped the organisms and, consequently, have determined their presence in certain areas (Chaves-Barrantes & Gutiérrez-Soto, 2017).

In recent decades, an increasing interest in analyzing of the relationship between the distribution of species, habitat and climate has grown (Borthakur et al., 2018; Li et al., 2016). Thanks to the recent development of geographic information systems (GIS) and applied statistical techniques, models that predict species distributions have been developed (Ramírez-Magil et al., 2020; Singh et al., 2020). Species distribution models (SDM) use information on environmental variables related to the presence of one or a group of species. With mathematical algorithms, the information is systematized for the development of correlative to complex models that analyze the ecological and environmental conditions affecting the distribution of species. Currently, these models are expanding with new methods and strategies for their treatment and interpretation. (Becerra-López et al., 2016; Rong et al., 2019; Zhao et al., 2020, 2020a, 2021).

SDM applications are relevant in research related to conservation biology, biogeography, epidemiology, potential impact of climate change, projections of geographic occurrence of invasive species, and identification of geographic regions that require exploration (López-Sandoval et al., 2015; Saupe et al., 2012). For example, in the state of Baja California, Palma-Ordaz and Delgadillo-Rodríguez (2014) studied the potential distribution of eight invasive alien species and identified sites that require further exploration, for conservation and species management purposes.

From an ecological point of view, species contribute to the generation of environmental goods and services. Some of the most important are climate regulation, water provision (quality and quantity) and oxygen

## Introducción

La distribución de especies, comunidades y poblaciones depende de factores ambientales, ecológicos e incluso sociales (Leal-Nares et al., 2012). Algunas especies arbóreas se distribuyen en ambientes muy específicos; por ejemplo, *Rhizophora mangle* L. (mangle rojo) habita exclusivamente en ambientes acuáticos (Barrantes-Leiva & Cerdas-Salas, 2015); otros taxones habitan preferentemente en climas templados montañosos, como es el caso de los géneros *Pinus* (Barrantes-Leiva & Cerdas-Salas, 2015; Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad [CONABIO], 2022) y *Quercus* (CONABIO, 2022; Maciel-Mata et al., 2015). Por otro lado, algunas prevalecen en climas áridos como es el caso de la mayoría de las especies del género *Prosopis* (Maciel-Mata et al., 2015). Así, el área de distribución de cada especie se restringe dada su tolerancia ambiental, producto de procesos evolutivos que han moldeado a los organismos y que, en consecuencia, han determinado su presencia en ciertos espacios (Chaves-Barrantes & Gutiérrez-Soto, 2017).

En las últimas décadas ha crecido el interés en el análisis de la relación entre la distribución de las especies, su hábitat y el clima (Borthakur et al., 2018; Li et al., 2016). Gracias al desarrollo reciente de los sistemas de información geográfica (SIG) y de técnicas estadísticas aplicadas, se han desarrollado modelos que predicen la distribución de especies (Ramírez-Magil et al., 2020; Singh et al., 2020). Los modelos de distribución de especies (MDE) utilizan información sobre variables ambientales relacionadas con la presencia de una o un grupo de especies. Mediante algoritmos matemáticos, la información es sistematizada para el desarrollo de modelos correlativos a complejos que analizan las condiciones ecológicas y ambientales que influyen en la distribución de las especies. Actualmente, estos modelos están en expansión con nuevos métodos y estrategias para su tratamiento e interpretación (Becerra-López et al., 2016; Rong et al., 2019; Zhao et al., 2020, 2020a, 2021).

Las aplicaciones de MDE son relevantes en investigaciones relativas a la biología de la conservación, biogeografía, epidemiología, impacto potencial del cambio climático, proyecciones de ocurrencia geográfica de especies invasoras e identificación de regiones geográficas que requieren ser exploradas (López-Sandoval et al., 2015; Saupe et al., 2012). Por ejemplo, en el estado de Baja California, Palma-Ordaz y Delgadillo-Rodríguez (2014) estudiaron la distribución potencial de ocho especies exóticas de carácter invasor e identificaron los sitios que requieren de más exploración, con fines de conservación y manejo de las especies.

Desde el punto de vista ecológico, las especies

generation, erosion control, as well as soil regeneration, conservation and recovery (Başkent, 2021), which provide economic, social and environmental benefits (Başkent, 2021), which provide economic, social and environmental benefits (System of Environmental Economic Accounting [SEEA], 2022).

There are currently no recent scientific systematic review papers that analyze global trends in tree-based SDM studies, so the objective of this study was to compile and analyze scientific information about the countries that have developed SDM, the tree species studied, types of analysis and algorithms/models used, as well as the type of variables used in the research during the period 1990-2022. Having a document that synthesizes the information, produced over 30 years, contributes to the understanding of the line of research in different fields such as biology, ecology, biological conservation and biogeography.

## Materials and Methods

### Compilation of information

A detailed systematic review of the global scientific literature on the use of arboreal species SDM published in the period 1990-2022 was completed. Seventy-six scientific databases and publishers were reviewed, corresponding to Dialnet, Crossref, Scilit, PubMed, ISI Web of Science, Springer Link, ScienceDirect, Journal Article, SciELO, INECOL, Polibotánica, Redalyc, Ecology and Evolution, Ecología Austral, Plant Ecology, New Forests, Library Online, Botanical Sciences and Semantic Scholar. A total of 233 scientific journals were consulted; in addition, 10 books and seven theses were reviewed. In the search for information, keywords (in English and Spanish) were used such as: 'potential distribution', 'geographic distribution', 'geographic patterns', 'modeling', 'tree species', 'habitat suitability', 'climate change' and 'ecological niche'.

### Organization and analysis of information

There were six categories of analysis of the information found: country of origin of the study, species studied, objective of the study (species, family or genus distribution), type of analysis (correlative models [simple correlation between distribution record and bioclimatic layers] and complex models [use of multiple physiological, climate and edaphological variables, habitat solar radiation, species genetics, disturbance of the study area and habitat suitability variables of the species studied]), type of model/algorithm and climate variables. The information was recorded and categorized in a Microsoft Excel database (Gómez-Tolosa et al., 2021; Ocampo-González et al., 2020).

contribuyen con la generación de bienes y servicios ambientales. Algunos de los más importantes son la regulación del clima, provisión del agua (calidad y cantidad) y generación de oxígeno, control de la erosión, así como la regeneración, conservación y recuperación del suelo (Başkent, 2021), los cuales aportan beneficios económicos, sociales y ambientales (System of Environmental Economic Accounting [SEEA], 2022).

En la actualidad no existen trabajos de revisión sistemática científica reciente que analicen las tendencias globales de los estudios de MDE arbóreas, por lo que el objetivo de este estudio fue recopilar y analizar la información científica acerca de los países que han desarrollado MDE, las especies arbóreas estudiadas, los tipos de análisis y de algoritmos/modelos utilizados, así como el tipo de variables usadas en las investigaciones durante el periodo 1990-2022. El hecho de contar con un documento que sintetice la información, producida a lo largo de 30 años, contribuye al entendimiento de la línea de investigación en diversos campos tales como biología, ecología, conservación biológica y biogeografía.

## Materiales y métodos

### Recopilación de información

Se hizo una revisión sistemática exhaustiva de la literatura científica global relativa al uso de MDE arbóreas, publicada en el periodo 1990-2022. Se revisaron 76 bases de datos y editoriales científicas, correspondientes a Dialnet, Crossref, Scilit, PubMed, ISI Web of Science, Springer Link, ScienceDirect, Journal Article, SciELO, INECOL, Polibotánica, Redalyc, Ecology and Evolution, Ecología Austral, Plant Ecology, New Forests, Library Online, Botanical Sciences y Semantic Scholar. Se consultaron 233 revistas científicas; además se revisaron 10 libros y siete tesis. En la búsqueda de información se utilizaron palabras clave (en inglés y español) tales como: 'distribución potencial', 'distribución geográfica', 'patrones geográficos', 'modelado', 'modelamiento', 'especies arbóreas', 'idoneidad de hábitat', 'cambio climático' y 'nicho ecológico'.

### Organización y análisis de información

Se obtuvieron seis categorías de análisis de la información encontrada: país origen del estudio, especie estudiada, objetivo del estudio (distribución de especies, de familias o de géneros), tipo de análisis (modelos correlativos [correlación simple entre el registro de distribución y las capas bioclimáticas]) y modelos complejos [uso de múltiples variables

## Results and Discussion

The overall trend of studies on arboreal species SDM in the last decades increased mostly in the period from 2010 to 2020 (70.4 %,  $n = 176$ ;  $N = 250$ ), followed by the periods 2020-2022 (15.2 %,  $n = 38$ ) and 2000-2010 (13.6 %,  $n = 34$ ); in contrast, for the years 1990 to 2000, studies related to this subject were very scarce (0.8 %,  $n = 2$ ).

These types of studies have increased in the last 30 years and have covered not only spatial patterns of tree species occurrence, but also research topics of endemic species and plant suitability, such as Ávila-Sánchez et al. (2018) and Quipuscoa Silvestre et al. (2019). According to the results, the increasing impact of environmental factors (climate change) and anthropogenic damage (land use change, pollution, deforestation and extensive livestock farming) on species distribution has motivated an increase in research worldwide to understand species responses. Studies show significant differences in the effects and factors that determine the distribution of species within families and even within the same genus, influencing the diversity structure (relative abundance of species and ecosystems and degree of connectivity; Villaseñor, 2018).

### Origin of the study

From 1990 to 2022, 250 arboreal species SDM studies were conducted in 48 countries. The countries with the highest number of studies were China (21.7 %,  $n = 54$ ), Mexico (20.5 %,  $n = 51$ ) and Spain (11.6 %,  $n = 29$ ), while the countries with the lowest percentage were Senegal (0.40 %,  $n = 1$ ), Syria (0.40 %,  $n = 1$ ) and Nepal (0.40 %,  $n = 1$ ; Figure 1). According to Martínez-Meyer et al. (2014) and Marchese (2015), 11 countries are considered the most diverse in vascular plants, among them, specifically China and Mexico, which, due to their location in the tropical zone and their topography with a great complexity of landscapes and microclimates, favor suitable environments for several tree species (Mokany et al., 2020). This may explain why more SDM studies are conducted in these two countries. Although Spain is not included in the list of nations with the greatest diversity of tree species, in the results it is one of the five countries that have carried out the most studies on this subject. Therefore, authors such as García-Valdés and Morales-Castilla (2016) suggest that in recent years special attention has been presented to SDM studies in that country, where they use the Spanish national forest inventory in order to highlight the geographical distribution capacity and the performance of tree species in the future.

### Species studied

In the 250 studies reviewed, 163 tree species corresponding to 36 families and 69 genera were

fisiológicas, climáticas y edafológicas, radiación solar de hábitat, genética de la especie, perturbación del área de estudio y variables de idoneidad de hábitat de las especies estudiadas)), tipo de modelo/algoritmo y variables climáticas. La información se registró y categorizó en una base de datos en Microsoft Excel (Gómez-Tolosa et al., 2021; Ocampo-González et al., 2020).

## Resultados y discusión

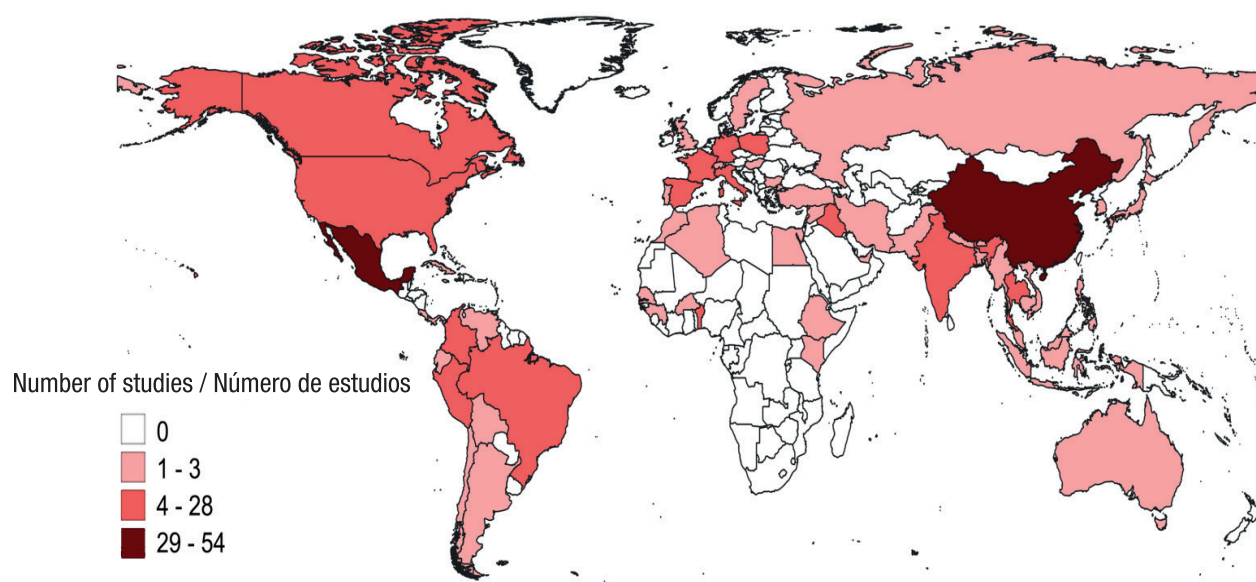
La tendencia global de estudios sobre MDE arbóreas en las últimas décadas aumentó sobre todo en el periodo 2010-2020 (70.4 %,  $n = 176$ ;  $N = 250$ ), seguido de los periodos 2020-2022 (15.2 %,  $n = 38$ ) y 2000-2010 (13.6 %,  $n = 34$ ); de manera contraria, para los años 1990 al 2000, los estudios relacionados con este tema eran muy escasos (0.8 %,  $n = 2$ ).

Este tipo de estudios han aumentado en los últimos 30 años y han abarcado no solo los patrones espaciales de presencia de especies arbóreas, sino también temas de investigación de MDE endémicas e idoneidad vegetal, tal el caso de Ávila-Sánchez et al. (2018) y Quipuscoa Silvestre et al. (2019). Según los resultados, el impacto creciente de los factores ambientales (cambio climático) y daños antropogénicos (cambio de uso de suelo, contaminación, deforestación y ganadería extensiva) sobre la distribución de las especies ha motivado el aumento en investigaciones a nivel mundial, para comprender las respuestas de estas. Los estudios muestran diferencias significativas en los efectos y factores que determinan la distribución de especies dentro de familias e incluso dentro de un mismo género, influyendo sobre la estructura de la diversidad (abundancia relativa de las especies y de los ecosistemas y grado de conectividad; Villaseñor, 2018).

### Origen del estudio

De 1990 a 2022, 250 estudios de MDE arbóreas se realizaron en 48 países. Los países con mayor número de estudios fueron China (21.7 %,  $n = 54$ ), México (20.5 %,  $n = 51$ ) y España (11.6 %,  $n = 29$ ), mientras que los países con el menor porcentaje fueron Senegal (0.40 %,  $n = 1$ ), Siria (0.40 %,  $n = 1$ ) y Nepal (0.40 %,  $n = 1$ ; Figura 1). De acuerdo con Martínez-Meyer et al. (2014) y Marchese (2015), 11 países son considerados los más diversos en plantas vasculares, entre ellos, precisamente se encuentran China y México, los cuales, debido a su ubicación en la zona tropical y su topografía con una gran complejidad de paisajes y microclimas, favorecen ambientes propicios para varias especies arbóreas (Mokany et al., 2020). Ello puede explicar el por qué en estos dos países se realizan más estudios de MDE. Si bien, España no figura en el listado de naciones con más diversidad de especies arbóreas, en los resultados es uno de los cinco países que más estudios ha realizado en este tema. Por ello, autores como García-





**Figure 1. Global distribution of tree species distribution modeling studies for the period 1990-2022.**

**Figura 1. Distribución mundial de estudios sobre modelado de la distribución de especies arbóreas durante el periodo 1990-2022.**

recorded (Table 1). The most studied species belong to the families Pinaceae (60 species and 86 genera) and Fagaceae (40 species and 53 genera). Among the frequently studied species were *Pinus pinceana* Gordon (2.8 %, n = 7), *Pinus durangensis* Martínez (2.0 %, n = 5) and *Pinus sylvestris* L. (2.0 %, n = 5); while the least studied were *Ostrya rehderiana* Chun (0.4 %, n = 1), *Oroxylum indicum* (L.) Kurz (0.4 %, n = 1) and *Polylepis racemosa* Ruiz & Pav. (0.4 %, n = 1).

The Pinaceae family is the most represented probably because the research describes pines as elements of great ecological, economic and even social importance. Often, pines are the dominant component of the vegetation, strongly influencing functional processes of the forest ecosystem, such as biogeochemical cycles, hydrological cycles, and fire regimes; in addition, they are habitat and food source for a large number of invertebrates and vertebrates (Aceves-Rangel et al., 2018; González-Cubas et al., 2020). Pines provide important environmental services (water, oxygen, recreation, and carbon sequestration) and influence the regional climate (Cruz-Cárdenas et al., 2016; Martínez-Méndez et al., 2016). On the other hand, the Pinaceae family has great economic value, as pines are a source of timber, firewood, pulp, resins, edible seeds and other products of anthropogenic interest. All this results in the growing interest in understanding the distribution patterns of this family, such is the case of *P. pinceana* (species with the highest percentage of studies), a tree endemic to Mexico, recognized as one of the few forest resources of semi-arid zones due to its wide adaptability and resistance to adverse conditions, which gives it the

Valdés y Morales-Castilla (2016) sugieren que en los últimos años se ha presentado una atención especial a los estudios de MDE en dicho país, donde utilizan el inventario forestal nacional español con el fin de destacar la capacidad de distribución geográfica y el funcionamiento de las especies arbóreas en el futuro.

#### Especie estudiada

En los 250 estudios revisados se registraron 163 especies arbóreas correspondientes a 36 familias y a 69 géneros (Cuadro 1). Las especies más estudiadas pertenecen a las familias Pinaceae (60 especies y 86 géneros) y Fagaceae (40 especies y 53 géneros). Entre las especies frecuentemente estudiadas se encuentran *Pinus pinceana* Gordon (2.8 %, n = 7), *Pinus durangensis* Martínez (2.0 %, n = 5) y *Pinus sylvestris* L. (2.0 %, n = 5); mientras que las menos estudiadas fueron *Ostrya rehderiana* Chun (0.4 %, n = 1), *Oroxylum indicum* (L.) Kurz (0.4 %, n = 1) y *Polylepis racemosa* Ruiz & Pav. (0.4 %, n = 1).

La familia Pinaceae es la más representada probablemente porque en las investigaciones realizadas se describen a los pinos como elementos de gran importancia ecológica, económica e incluso social. A menudo, los pinos son el componente dominante de la vegetación, influyendo fuertemente en los procesos funcionales del ecosistema forestal, tales como los ciclos biogeoquímicos, hidrológicos, y los regímenes de fuego; aunado a ello, son hábitat y fuente de alimento para un gran número de invertebrados y vertebrados (Aceves-Rangel et al., 2018; González-Cubas et al., 2020). Los pinos ofrecen importantes servicios ambientales

**Table 1. Tree families, genera and species included in 250 distribution modeling studies published in the period 1990-2022.****Cuadro 1. Familias, géneros y especies arbóreas incluidos en 250 estudios de modelado de distribución publicados en el periodo 1990-2022.**

Species studied/ Especies estudiadas	Number of publications/ Número de publicaciones	Genera studied/ Géneros estudiados	Families studied/ Familias estudiadas
<i>Abies alba</i> Mill.	2	3	3
<i>Abies guatemalensis</i> Rehder	1	1	1
<i>Abies pinsapo</i> Boiss.	2	2	2
<i>Abies religiosa</i> (Kunth) Schltdl. & Cham.	2	3	3
<i>Abies vejarii</i> Martínez	1	3	3
<i>Acacia pycnantha</i> Benth	1	1	1
<i>Acer davidii</i> Franch.	2	1	1
<i>Acer campestre</i> L.	1	1	1
<i>Acer monspessulanum</i> L.	1	1	2
<i>Acer pseudoplatanus</i> L.	1	1	1
<i>Acer platanoides</i> L.	1	1	1
<i>Alnus glutinosa</i> (L.) Gaertn.	1	1	1
<i>Alnus cremastogyne</i> Burkill	1	1	1
<i>Aglaia bourdillonii</i> Gamble	1	1	2
<i>Araucaria angustifolia</i> (Bertol.) Kuntze	1	1	1
<i>Argania spinosa</i> Roem. & Schult.	1	1	1
<i>Arbutus xalapensis</i> Kunth	1	1	1
<i>Astronium graveolens</i> Jacq.	4	2	2
<i>Astronium graveolens</i> Jacq.	4	2	2
<i>Bursera simaruba</i> (L.) Sarg.	1	1	1
<i>Canacomyrica monticola</i> Guillaumin	1	1	1
<i>Cariniana decandra</i> Ducke	3	2	3
<i>Catalpa bungei</i> C. A. Mey.	1	1	1
<i>Carpinus tientaiensis</i> W. C. Cheng	1	1	1
<i>Castanopsis sieboldii</i> (Makino) Hatus.	1	1	1
<i>Cedrelinga cateniformis</i> (Ducke) Ducke	2	1	3
<i>Cedrus atlantica</i> (Endl.) Manetti ex Carrière	1	1	1
<i>Cedrela odorata</i> L.	2	2	2
<i>Cedrela montana</i> Moritz ex Turcz.	2	2	2
<i>Cedrela kuelapensis</i> T. D. Penn. & Daza	1	1	1
<i>Cedrus libani</i> A. Rich.	1	1	1
<i>Cedrela dugesii</i> S. Watson	1	1	1
<i>Cinnamomum camphora</i> (L.) J. Presl	1	1	1
<i>Cola lorougnonis</i> Aké Assi	1	1	1
<i>Cunninghamia lanceolata</i> (Lamb.) Hook.	3	2	3
<i>Dalbergia cultrata</i> Benth.	1	1	1
<i>Davidia involucreta</i> Baill.	1	1	1

**Table 1. Tree families, genera and species included in 250 distribution modeling studies published in the period 1990-2022. (cont.)**

**Cuadro 1. Familias, géneros y especies arbóreas incluidos en 250 estudios de modelado de distribución publicados en el periodo 1990-2022. (cont.)**

Species studied/ Especies estudiadas	Number of publications/ Número de publicaciones	Genera studied/ Géneros estudiados	Families studied/ Familias estudiadas
<i>Dipteryx oleifera</i> Benth.	1	1	1
<i>Dialium guianense</i> (Aubl.) Sandwith	1	1	1
<i>Dipterocarpus turbinatus</i> C. F. Gaertn.	2	2	2
<i>Eusideroxylon zwageri</i> Teijsm. & Binn.	1	1	1
<i>Esenbeckia cornuta</i> Engl.	1	1	1
<i>Eremanthus erythropappus</i> Gardner	1	1	3
<i>Elaeagnus angustifolia</i> L.	1	1	1
<i>Fagus sylvatica</i> L.	1	2	2
<i>Fagus grandifolia</i> Ehrh.	1	1	1
<i>Glyptostrobus pensilis</i> (Staunton ex D. Don) K. Koch	1	1	1
<i>Handroanthus impetiginosus</i> (Mart. ex DC.) Mattos	1	1	1
<i>Hydnocarpus kurzii</i> (King) Warb.	1	1	1
<i>Haloxylon ammodendron</i> (C. A. Mey.) Bunge ex Fenzl	1	1	1
<i>Hymenaea courbaril</i> L.	1	1	1
<i>Hippophae salicifolia</i> D. Don	1	1	1
<i>Hura crepitans</i> L.	1	1	1
<i>Iberian abies</i> L.	1	1	1
<i>Ilex aquifolium</i> L.	2	1	2
<i>Ilex pallida</i> Standl.	1	1	1
<i>Juniperus rigida</i> Siebold & Zucc.	1	1	1
<i>Juglans regia</i> L.	1	1	1
<i>Liriodendron chinense</i> (Hemsl.) Sarg.	1	1	1
<i>Liquidambar styraciflua</i> L.	1	1	1
<i>Malus pumila</i> Mill.	1	1	1
<i>Mangifera sylvatica</i> Roxb.	1	1	1
<i>Melaleuca quinquenervia</i> (Cav.) S. T. Blake	1	1	1
<i>Melaleuca cajuputi</i> Powell	2	2	2
<i>Milicia excelsa</i> (Welw.) C. C. Berg	1	1	1
<i>Minquartia guianensis</i> Aubl.	1	1	1
<i>Moringa peregrina</i> (Forssk.) Fiori	1	1	1
<i>Morus alba</i> L.	1	1	1
<i>Myristica dactyloides</i> Gaertn.	2	1	2
<i>Myrrhidendron donnellsmithii</i> J. M. Coult. & Rose	1	1	1
<i>Otoba parvifolia</i> (Markgr.) A. H. Gentry	2	2	2
<i>Ostrya rehderiana</i> Chun	1	1	1
<i>Oroxylum indicum</i> (L.) Kurz	1	1	1
<i>Olea ferrugínea</i> Wall. ex Aitch.	1	1	1

**Table 1. Tree families, genera and species included in 250 distribution modeling studies published in the period 1990-2022. (cont.)****Cuadro 1. Familias, géneros y especies arbóreas incluidos en 250 estudios de modelado de distribución publicados en el periodo 1990-2022. (cont.)**

Species studied/ Especies estudiadas	Number of publications/ Número de publicaciones	Genera studied/ Géneros estudiados	Families studied/ Familias estudiadas
<i>Oreomunnea mexicana</i> (Standl.) J.-F.Leroy	1	1	1
<i>Pelliciera rhizophorae</i> Planch. & Triana	1	1	1
<i>Pinus arizonica</i> Engelm.	2	2	5
<i>Pinus cembroides</i> Zucc.	3	2	3
<i>Picea crassifolia</i> Kom.	3	2	3
<i>Picea chihuahuana</i> Martínez	2	1	2
<i>Pinus armandii</i> Franch.	2	1	2
<i>Pinus caribaea</i> Morelet	1	1	1
<i>Pinus culminicola</i> Andresen & Beaman	3	1	1
<i>Pinus chihuahuana</i> Engelm.	3	2	4
<i>Pinus durangensis</i> Martínez	5	4	8
<i>Pinus hartwegii</i> Lindl.	4	2	4
<i>Pinus herrerae</i> Martínez	2	2	2
<i>Pinus jaliscana</i> Pérez de la Rosa	1	1	1
<i>Pinus koraiensis</i> Siebold & Zucc.	2	2	2
<i>Pinus montezumae</i> Lamb.	1	2	3
<i>Pinus martinezii</i> E. Larsen	1	2	1
<i>Pinus nelsonii</i> Shaw	3	1	1
<i>Pinus nigra</i> J. F. Arnold	3	3	3
<i>Pinus pinea</i> L.	3	1	2
<i>Pinus pinaster</i> Aiton	1	2	3
<i>Pinus pinceana</i> Gordon	7	5	4
<i>Pinus pseudostrobus</i> Lindl.	3	2	2
<i>Pinus sylvestris</i> L.	5	3	6
<i>Pinus uncinata</i> Ramond ex DC.	5	2	2
<i>Pinus teocote</i> Schied. ex Schltdl. & Cham.	2	4	6
<i>Pinus rzedowskii</i> Madrigal & M. Caball.	2	4	7
<i>Pinus virginiana</i> Mill.	2	2	2
<i>Pinus tropicalis</i> Morelet	2	2	2
<i>Piper aduncum</i> L.	1	1	1
<i>Polylepis racemosa</i> Ruiz & Pav.	1	1	1
<i>Populus tremula</i> L.	1	1	1
<i>Prunus armeniaca</i> L.	1	1	1
<i>Prosopis cineraria</i> (L.) Druce	1	1	1
<i>Prosopis laevigata</i> (Willd.) M. C. Johnst.	1	1	1
<i>Prunus africana</i> (Hook. f.) Kalkman	2	1	2
<i>Pseudolarix amabilis</i> (J. Nelson) Rehder	1	1	1



**Table 1. Tree families, genera and species included in 250 distribution modeling studies published in the period 1990-2022. (cont.)**

**Cuadro 1. Familias, géneros y especies arbóreas incluidos en 250 estudios de modelado de distribución publicados en el periodo 1990-2022. (cont.)**

Species studied/ Especies estudiadas	Number of publications/ Número de publicaciones	Genera studied/ Géneros estudiados	Families studied/ Familias estudiadas
<i>Pseudotsuga</i> sp. L.	1	1	2
<i>Pterocarpus santalinus</i> L. f.	1	1	1
<i>Quadrella incana</i> (Kunth) Iltis & Cornejo	1	1	2
<i>Quercus costaricensis</i> Liebm.	2	1	2
<i>Quercus coccolobifolia</i> Trel.	1	1	1
<i>Quercus canbyi</i> Trel.	1	1	1
<i>Quercus ithaburensis</i> Decne.	1	1	1
<i>Quercus cedrorum</i> Kotschy	2	2	2
<i>Quercus cerris</i> L.	4	2	4
<i>Quercus cornelius-mulleri</i> Nixon & K. P. Steele	1	1	1
<i>Quercus ilex</i> L.	5	2	5
<i>Quercus leucotrichophora</i> L.	1	1	1
<i>Quercus coccifera</i> L.	3	3	3
<i>Quercus laeta</i> Liebm.	1	1	2
<i>Quercus humilis</i> Mill.	1	1	2
<i>Quercus semecarpifolia</i> Sm.	1	1	1
<i>Quercus aegilops</i> Scop.	2	2	2
<i>Quercus libani</i> G. Olivier	1	1	1
<i>Quercus falcata</i> Michx.	2	2	2
<i>Quercus petraea</i> (Matt.) Liebl.	2	2	2
<i>Quercus suber</i> L.	4	5	6
<i>Rhizophora racemosa</i> G. Mey.	1	1	1
<i>Rhizophora mangle</i> L.	1	1	1
<i>Rhododendron arboreum</i> Sm.	1	1	1
<i>Sabina przewalskii</i> (Kom.) W. C. Cheng & L. K. Fu	1	1	1
<i>Sapindus</i> L.	1	1	1
<i>Santalum albumen</i> (R. Br.) A. DC.	1	1	1
<i>Sassafras tzumu</i> (Hemsl.) Hemsl.	1	1	1
<i>Semiliquidambar cathayensis</i> Hung T. Chang	1	1	1
<i>Sebastiana longicuspis</i> Standl.	1	1	1
<i>Schinus molle</i> L.	1	1	1
<i>Shorea guiso</i> Blume	1	1	1
<i>Sinadoxa corydalifolia</i> C. Y. Wu, Z. L. Wu & R. F. Huang	1	1	1
<i>Sorbus aria</i> (L.) Crantz	1	1	1
<i>Styrax sumatrana</i> Pohl	1	1	1
<i>Swietenia macrophylla</i> King	1	1	1
<i>Tamarindus indica</i> L.	2	1	2

**Table 1. Tree families, genera and species included in 250 distribution modeling studies published in the period 1990-2022. (cont.)****Cuadro 1. Familias, géneros y especies arbóreas incluidos en 250 estudios de modelado de distribución publicados en el periodo 1990-2022. (cont.)**

Species studied/ Especies estudiadas	Number of publications/ Número de publicaciones	Genera studied/ Géneros estudiados	Families studied/ Familias estudiadas
<i>Taiwania cryptomerioides</i> Hayata	1	1	1
<i>Taxus baccata</i> L.	2	2	2
<i>Taxodium mucronatum</i> Ten.	1	1	1
<i>Taxus globosa</i> Schlttdl.	1	1	1
<i>Tecoma rosaefolia</i> Urb.	1	1	1
<i>Tectona grandis</i> L. f.	2	1	2
<i>Tilia platyphyllos</i> Scop.	2	1	2
<i>Tilia cordata</i> Mill.	1	1	1
<i>Triadica sebifera</i> (L.) Small	1	1	1
<i>Triplochiton scleroxylon</i> K. Schum.	1	1	1
<i>Vaccinium consanguineum</i> Klotzsch	1	1	1
<i>Ximenia americana</i> L.	1	1	1
<i>Zelkova serrata</i> (Thunb.) Makino	1	1	1
<i>Zelkova schneideriana</i> Hand. Mazz.	1	1	1

status of a species with great potential for ecological restoration (Rosas-Chavoya et al., 2016).

### Objective of the study

The main objective of most of the 250 studies was to study the distribution of tree species (76 %, n = 190) and to analyze SDM of tree families (20.4 %, n = 51), while only 3.6 % (n = 9) aimed to study SDM of tree genera. It is likely that the reason that the objects of study are species and not families is because the former possess very particular anatomical, morphological and physiological characteristics that make them unique. For example, a species can be located in a specific habitat, whose abiotic and biotic conditions interact dynamically to produce the complex entity showing the geographic distribution, since these conditions are favorable only to the species, while families gather groups of species that require the varied presence of biotic and abiotic conditions to explain the entire distribution of the group to be studied. Thus, the study of a single species provides the necessary knowledge to model its spatial and temporal distribution, as it has specific data on its physiology, evolutionary biology, ecology and conservation (Guisan et al., 2013; Vroh et al., 2016).

(agua, oxígeno, recreación y captura de carbono) e influyen en el clima regional (Cruz-Cárdenas et al., 2016; Martínez-Méndez et al., 2016). Por otra parte, la familia Pinaceae posee gran valor económico, ya que los pinos son fuente de madera, leña, pulpa, resinas, semillas comestibles y de otros productos de interés antropogénico. Todo ello resulta en el interés creciente de comprender los patrones de distribución de esta familia, tal es el caso de *P. pinceana* (especie con mayor porcentaje de estudios), árbol endémico de México, reconocido como uno de los pocos recursos forestales de las zonas semiáridas por su amplia adaptabilidad y resistencia a condiciones adversas, lo que le otorga un estatus de especie con gran potencial para la restauración ecológica (Rosas-Chavoya et al., 2016).

### Objetivo del estudio

El objetivo principal de la mayoría de los 250 estudios fue estudiar la distribución de especies arbóreas (76 %, n = 190) y analizar MDE de familias arbóreas (20.4 %, n = 51), mientras que solo 3.6 % (n = 9) tuvo como objetivo estudiar MDE de géneros arbóreos. Es probable que la razón de que los objetos de estudio sean las especies y no las familias, se deba a que las primeras poseen características anatómicas, morfológicas y fisiológicas

Type of analysis (correlative or complex)

Of the 250 publications, and according to Table 2, 78.4 % (n = 194) of the SDM studies used correlative analyses of species distribution with environmental variables such as precipitation (50.4 %, n = 126), temperature (49.6 %, n = 124) and mean annual temperature (46 %, n = 115).

muy particulares que las hacen únicas. Por ejemplo, una especie puede situarse en un hábitat específico, cuyas condiciones abióticas y bióticas interactúan dinámicamente para producir la compleja entidad que presenta la distribución geográfica, ya que dichas condiciones le son favorables solo a ella, mientras que las familias congregan grupos de especies que requieren

**Table 2. Frequency and percentage of use of variables included in correlative models of 250 publications of tree species distribution in the period 1990-2022.**

**Cuadro 2. Frecuencia y porcentaje de uso de variables incluidas en modelos correlativos de 250 publicaciones de distribución de especies arbóreas en el periodo 1990-2022.**

Variables	n	%
Precipitation/Precipitación	126	50.4
Temperature/Temperatura	124	49.6
Average annual temperature/Promedio de temperatura anual	115	46.0
Precipitation in the wettest quarter/Precipitación del trimestre más lluvioso	113	45.2
Precipitation in the driest period/Precipitación del periodo más seco	107	42.8
Average temperature/Temperatura media	105	42.0
Quarterly average temperatures/Temperatura media trimestre	103	41.2
Precipitation in the wettest period/Precipitación del periodo más lluvioso	101	40.4
Precipitation in the driest quarter/Precipitación del trimestre más seco	98	39.2
Minimum temperature of the coldest month/ Temperatura mínima del mes más frío	97	38.8
Seasonality of temperature/Estacionalidad de temperatura	92	36.8
Precipitation of the warmest quarter/Precipitación del trimestre más cálido	89	35.6
Precipitation of the coldest quarter/Precipitación del trimestre más frío	89	35.6
Minimum temperature of the warmest month/ Temperatura mínima del mes más cálido	86	34.4
Minimum temperature/Temperatura mínima	86	34.4
Maximum temperature/Temperatura máxima	80	32.0
Average temperature of the winter quarter/ Temperatura media del trimestre invernal	79	31.6
Monthly precipitation/Precipitación mensual	78	31.2
Average temperature of the rainiest quarter/Temperatura promedio del trimestre más lluvioso	75	30.0
Average temperature of the coldest month/Temperatura media del mes más frío	74	29.6
Annual temperature range/ Rango de temperatura anual	73	29.2
Annual precipitation/Precipitación anual	72	28.8
Altitude/Altitud	70	28.0
Precipitation in the dry season of the year/Precipitación pluvial de la temporada seca del año	67	26.8
Precipitation in the rainy season of the year/ Precipitación pluvial de la temporada lluviosa del año	65	26.0
Maximum temperature of the warmest month/ Temperatura máxima del mes más cálido	65	26.0
Daily temperature range/Rango de temperaturas diarias	60	24.0

**Table 2. Frequency and percentage of use of variables included in correlative models of 250 publications of tree species distribution in the period 1990-2022. (cont.)****Cuadro 2. Frecuencia y porcentaje de uso de variables incluidas en modelos correlativos de 250 publicaciones de distribución de especies arbóreas en el periodo 1990-2022. (cont.)**

Variables	n	%
Average temperature of the driest quarter/ Temperatura promedio del trimestre más seco	59	23.6
Seasonality of precipitation/Estacionalidad de la precipitación	58	23.2
Average temperature of warmest quarter/ Temperatura promedio del trimestre más cálido	58	23.2
Average temperature of the coldest quarter/ Temperatura promedio del trimestre más frío	54	21.6
Elevation/Elevación	36	14.4
Average diurnal range/Rango medio diario	33	13.2
Land topography/Topografía terrestre	19	7.6
Average diurnal temperature range/Intervalo promedio de temperaturas diurnas	19	7.6
Physiography/Fisiografía	17	6.8
Slope/Pendiente	16	6.4
Isothermality/Isotermalidad	14	5.6
Latitude/Latitud	11	4.4
Moisture/Humedad	11	4.4
Composite topography and aspect/Aspecto y topografía compuesta	7	2.8
Lithology/Litología	6	2.4
Thermal oscillation/Oscilación térmica	5	2.0
Global Tilted Irradiation/Irradiación global inclinada	5	2.0
Annual temperature oscillation/Oscilación anual de temperatura	4	1.6
Diffuse horizontal irradiation/Irradiación horizontal difusa	4	1.6
Road density/Densidad de carretera	3	1.2
Exposure/Exposición	3	1.2
Safe frost/Heladas seguras	3	1.2
Actual annual evapotranspiration/Evapotranspiración real anual	3	1.2
Emberger's annual ombrothermal indices/ Índices ombrotérmicos anuales de Emberger	3	1.2
Aridity index/Índice de aridez	3	1.2
Direct normal irradiance/Irradiación normal directa	3	1.2
Topographic wetness index/Índice topográfico de humedad	3	1.2
Geomorphology/Geomorfología	2	0.8
Global horizontal irradiation/Irradiación horizontal global	2	0.8
Rock consolidation/Consolidación de la roca	1	0.4
Rock acidity/Acidez de la roca	1	0.4

On the other hand, only 21.6 % (n = 54) of the studies included complex analyses, using the effect of different variables on the distribution of tree species. According to Table 3, complex studies used soil variables (45.6 %, n = 114), habitat suitability (20 %, n = 50) and vegetation structure (15.6 %, n = 39).

Complex analyses stand out because few studies have solid data on the biotic and abiotic factors that a given species needs for an ideal physiological process, and therefore play a very important role in the distribution of tree species; however, most studies include correlative analyses between few bioclimatic variables and the species record (Soilhi et al., 2022; Ye et al., 2022). Most studies only count with data on organism presence, a few also count with absence data and, finally, there are occasions in which abundance data are available. Usually, the data come from non-targeted sampling and observations that consist of making the most of the circumstances to gain the greatest possible benefit (Becerra López et al., 2016). There are rare cases where there are samplings expressly designed to estimate the distribution of an organism (Maciel-Mata et al., 2015). That is why 78.4 % of the studies are simple correlation studies between the distribution record and environmental variables, among these we find: (1) climate variables, usually generated from the interpolation of data from climatological stations, using elevation as a covariate (Soilhi et al., 2022; Ye et al., 2022); (2) lithology and geology information, representing the dependence of vegetation on substrate type; (3) elevation and derived variables, such as slope topography, curvature or roughness, and microclimates; (4) remotely sensed variables, such as vegetation indices, surface temperature, or land cover classifications, which have been little employed although they have significant potential (Chen et al., 2022). However, 21.6 % of the publications have enough information to perform complex analyses

la presencia variada de condiciones bióticas y abióticas para explicar toda la distribución del conjunto a estudiar. Así, el estudio de una sola especie facilita el conocimiento necesario para modelar su distribución espacial y temporal, al contar con datos específicos sobre su fisiología, biología evolutiva, ecología y conservación (Guisan et al., 2013; Vroh et al., 2016).

#### Tipo de análisis (correlativo o complejo)

De las 250 publicaciones, y acorde con el Cuadro 2, 78.4 % (n = 194) de los estudios de MDE llevaron a cabo análisis correlativos de la distribución de las especies con variables ambientales como la precipitación pluvial (50.4 %, n = 126), la temperatura (49.6 %, n = 124) y la temperatura promedio anual (46 %, n = 115).

Por otra parte, solo 21.6 % (n = 54) de los estudios realizaron análisis complejos, utilizando el efecto de distintas variables sobre la distribución de las especies arbóreas. De acuerdo con el Cuadro 3, los estudios complejos generalmente utilizaron variables edafológicas (45.6 %, n = 114), de idoneidad de hábitat (20 %, n = 50) y de estructura de la vegetación (15.6 %, n = 39).

Los análisis complejos destacan porque son pocos los estudios que poseen datos robustos sobre los factores bióticos y abióticos que determinada especie necesita para un proceso fisiológico idóneo, por lo que juegan un papel muy importante sobre la distribución de las especies arbóreas; no obstante, la mayoría de los estudios hacen análisis correlativos entre pocas variables bioclimáticas y el registro de las especies (Soilhi et al., 2022; Ye et al., 2022). La mayoría de las investigaciones solo disponen de datos de presencia del organismo, unos pocos cuentan además con datos de ausencia y, finalmente, hay ocasiones en las que se tienen datos de abundancia. Generalmente, los datos provienen de muestreos no dirigidos y de

**Table 3. Frequency and percentage of use of variables included in complex models of 250 publications of tree species distribution in the period 1990-2022.**

**Cuadro 3. Frecuencia y porcentaje de uso de variables incluidas en modelos complejos de 250 publicaciones de distribución de especies arbóreas en el periodo 1990-2022.**

Variables	n	%
Edaphology/Edafología	114	45.6
Habitat suitability/Idoneidad de hábitat	50	20.0
Vegetation structure/Estructura de la vegetación	39	15.6
Genetics/Genética	12	4.8
Solar radiation/Radiación solar	9	3.6
Disturbance/Perturbación	6	2.4
Forest land cover/Cobertura terrestre forestal	5	2.0



(physiological, climatic, edaphological variables, solar radiation, species genetics, area disturbance and habitat suitability variables of the species studied) (Ayer et al., 2021; Manzanilla-Quijada et al., 2020; Ramírez-Magil et al., 2020), and even have sufficient data on species abundance to allow their inclusion in the model (Bañuelos-Revilla et al., 2019).

### Type of variables

In the 250 studies, the use of 65 variables was recorded, which are listed in Tables 2 and 3. The most frequently used variables were precipitation (50.4 %, n = 126), temperature (49.6 %, n = 124) and mean annual temperature (46 %, n = 115); while the least used were geomorphology of the study area (0.8 %, n = 2), rock consolidation (0.4 %, n = 1) and rock acidity (0.4 %, n = 1). Other studies have shown that the potential geographic distribution of species can be inferred mainly from precipitation, annual temperature and relative humidity (Soilhi et al., 2022; Zhao et al., 2020a). Bañuelos-Revilla et al. (2019) and Díaz et al. (2012) report that these climate factors have direct and indirect effect on the distribution of forest species (Bañuelos-Revilla et al., 2019) at broad spatial scales (kilometers). For example, Díaz et al. (2012) mention that, in Big Bend National Park, south Texas, USA, the distribution and abundance of forest species are directly related to ambient temperature and soil moisture and indirectly to exposure to solar radiation. In the northeast of Mexico, González-Cubas et al. (2020) found that the annual temperature range and precipitation in the driest month are the most important environmental variables in determining the potential distribution of *Abies vejarii* Martínez (Pinaceae). Finally, Gutiérrez and Trejo (2014) affirm that changes in precipitation and temperature reduce the distribution range of five temperate forest tree species in Mexico, which would imply a considerable decrease in their populations and even some local extinctions are expected to happen.

Lira-Noriega et al. (2013) analyzed how temperature and precipitation factors explain the distribution area of the *Phoradendron californicum* Nutt. parasitic plant in the Sonoran and Mojave deserts and recommend integrating of environmental and biological factors in the geographic ranges, to understand the distribution patterns and processes. According to the authors, the study of environmental (temperature and precipitation), topographic and anthropogenic variables is essential in the distribution of species, because they help to understand the implications in the spatial and temporal development of their populations at a local scale, playing a very important role in the reproductive physiology, from flower formation to seed germination.

observaciones que consisten en aprovechar al máximo las circunstancias para obtener el mayor beneficio posible (Becerra López et al., 2016). Son raros los casos donde existen muestreos diseñados expresamente para estimar la distribución de un organismo (Maciel-Mata et al., 2015). Es por ello que 78.4 % de las investigaciones son estudios de correlación simple entre el registro de distribución y las variables ambientales, entre estas se encuentran: (1) variables climáticas, generadas normalmente a partir de la interpolación de datos de estaciones climatológicas, utilizando la elevación como covariable (Soilhi et al., 2022; Ye et al., 2022); (2) información sobre litología y geología, que representan la dependencia de la vegetación con el tipo de sustrato; (3) elevación y variables derivadas, tales como topografía de pendiente, curvatura o rugosidad y microclimáticas; (4) variables obtenidas mediante teledetección, como índices de vegetación, temperatura en superficie o clasificaciones de la cubierta del suelo, que han sido poco empleadas aunque tienen potencial importante (Chen et al., 2022). No obstante, 21.6 % de las publicaciones poseen información suficiente para hacer análisis complejos (variables fisiológicas, climáticas, edafológicas, radiación solar, genética de la especie, perturbación del área y variables de idoneidad de hábitat de las especies estudiadas) (Ayer et al., 2021; Manzanilla-Quijada et al., 2020; Ramírez-Magil et al., 2020), incluso, cuentan con datos suficientes de abundancia de las especies que permiten su inclusión en el modelo (Bañuelos-Revilla et al., 2019).

### Tipo de variables

En los 250 estudios se registró el uso de 65 variables, las cuales se enlistan en los Cuadros 2 y 3. Las variables de mayor frecuencia fueron la precipitación pluvial (50.4 %, n = 126), temperatura (49.6 %, n = 124) y temperatura promedio anual (46 %, n = 115); mientras que las menos usadas fueron la geomorfología del área de estudio (0.8 %, n = 2), la consolidación de la roca (0.4 %, n = 1) y la acidez de la roca (0.4 %, n = 1). Otros estudios han demostrado que la distribución geográfica potencial de las especies puede inferirse, sobre todo, a partir de la precipitación, temperatura anual y humedad relativa (Soilhi et al., 2022; Zhao et al., 2020a). Bañuelos-Revilla et al. (2019) y Díaz et al. (2012) afirman que estos factores climáticos tienen efecto directo e indirecto sobre la distribución de las especies forestales (Bañuelos-Revilla et al., 2019) en escalas espaciales amplias (kilómetros). Por ejemplo, Díaz et al. (2012) mencionan que, en el Parque Nacional Big Bend, al sur de Texas, EUA, la distribución y abundancia de las especies forestales están directamente relacionadas con la temperatura ambiental y con la humedad del suelo e indirectamente con la exposición a la radiación solar. Por su parte, en el noreste de México, González-

### Type of model/algorithm

A total of 13 techniques for performing arboreal species SDM models/algorithms were recorded in the 250 studies, which are listed in Table 4. The most widely used were the MaxEnt algorithm (72.8 %, n = 182), the Random Forests model (8 %, n = 16) and Genetic Algorithm for Rule-Set Prediction or GARP (4.8 %, n = 12); in contrast, the least used were the English UKMOHADGEM1 model (0.4 %, n = 1), the ILWIS V. 3.3 multicriteria spatial assessment (0.4 %, n = 1) and cluster analysis (0.4 %, n = 1).

The MaxEnt algorithm (Phillips et al., 2006) is the most widely used for multipurpose ecological niche modeling in biogeography, conservation biology, and ecology, probably because this algorithm simulates potential geographic distributions of species using machine learning and the principle of maximum entropy, achieving good results even when data on the distribution of a species are scarce (Radosavljevic & Anderson 2014; Ramírez-Magil et al., 2020; Singh et al., 2020). The results of this model can provide information on how species are restricted by environmental conditions, the impact of environmental changes on their distribution, and the determination of potential areas for species reintroduction (Rong et al., 2019; Zhao et al., 2020, 2020a, 2021). In addition, this algorithm has been widely used for solving problems involving endangered species in a strict sense, invasive species, suitable habitat for rare species, and forest destruction (Deb et al., 2020; Zhu et al., 2020).

Cubas et al. (2020) encontraron que el rango anual de temperatura y la precipitación del mes más seco son las variables ambientales más importantes para determinar la distribución potencial de *Abies vejarii* Martínez (Pinaceae). Finalmente, Gutiérrez y Trejo (2014) afirman que las modificaciones de precipitación y temperatura reducen el área de distribución de cinco especies arbóreas de bosque templado en México, lo que supondría una disminución considerable en sus poblaciones e incluso se predice que ocurrirán algunas extinciones locales.

Lira-Noriega et al. (2013) analizaron cómo los factores de temperatura y precipitación explican el área de distribución de la planta parásita *Phoradendron californicum* Nutt. en los desiertos de Sonora y Mojave y recomiendan la integración de factores ambientales y biológicos en los rangos geográficos, para la comprensión de los patrones y procesos de distribución. De acuerdo con los autores, el estudio de las variables ambientales (temperatura y precipitación), topográficas y antropogénicas es de vital importancia en la distribución de especies, ya que permite entender las implicaciones en el desarrollo espacio-temporal de sus poblaciones a escala local, jugando un papel muy importante para la fisiología reproductiva, desde la formación de flores hasta la germinación de semillas.

### Tipo de modelo/algoritmo

En los 250 estudios se registraron 13 técnicas para la realización de modelos/algoritmos de MDE arbóreas,

**Table 4. Frequency and percentage of model/algorithm use in geographic distribution modeling techniques for tree species in 250 publications in the period 1990-2022.**

**Cuadro 4. Frecuencia y porcentaje de uso de modelo/algoritmos en las técnicas de modelación de la distribución geográfica para especies arbóreas en 250 publicaciones en el periodo 1990-2022.**

Type of model/Tipo de modelo	n	%
MaxEnt 3.3.3k	182	72.8
Random Forests	20	8.0
Genetic Algorithm for Rule-Set Prediction (GARP)	12	4.8
Ordinary Least Squares (OLS)/Regresión Ordinaria (MCO)	8	3.2
General Linear Models (GLM)/Modelos Lineales Generales (GLM)	7	2.8
Logistic Regression Model/Modelo de Regresión Logística	6	2.4
German Model (MPIECHAM5)/Modelo alemán (MPIECHAM5)	3	1.2
General Additive Models (GAM)	3	1.2
Generalized Boosting Models (GBM)/ Modelos de Impulso Generalizados (GBM)	3	1.2
Universal Kringing Technique/Técnica de Kringing Universal	2	0.8
English Model (UKMOHADGEM1)/Modelo inglés (UKMOHADGEM1)	2	0.8
Multicriterial Spatial Evaluation ILWIS V.3.3/ Evaluación Espacial Multicriterio de ILWIS V.3.3	1	0.4
Cluster Analysis/Análisis de conglomerados	1	0.4

## Conclusions

This review provides a perspective on global trends in species distribution modeling studies for the period 1999-2022, which are usually carried out in countries with a high diversity of vascular species such as China and Mexico, Spain being a particular case where this rule is not followed. The most studied species belong to the Pinaceae and Fagaceae. MaxEnt is the most widely used algorithm in the models, due to its easy application and speed to obtain results, in which precipitation and environmental temperature are the most used variables. Despite its limitations, the studies demonstrate the usefulness of the tree species distribution modeling, therefore, it should be considered a necessary tool for forecasting the potential impacts of climate change on species distribution. It should be emphasized that the performance of the modeling will depend on the technique used, as well as its interpretation, which should be made according to the species and its habitat.

## Acknowledgments

We thank the Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) for the scholarship granted to D. M. Pozo-Gómez (CVU: 777549), for her PhD studies in Biodiversity and Conservation of Tropical Ecosystems, and to the reviewers who helped to improve the quality of this manuscript.

### End of English version

## References / Referencias

- Aceves-Rangel, L. D., Méndez-González, J., García-Aranda, M. A., Nájera-Luna, J. A. (2018). Distribución potencial de 20 especies de pinos en México. *Agrociencia*, 52(7), 1043–57. [https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_artext&pid=S1405-31952018000701043](https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_artext&pid=S1405-31952018000701043)
- Ávila-Sánchez, A., Sánchez-González, C., Catalán-Heverástico, R. C., Almazán-Núñez, & Jiménez-Hernández, J. (2018). Patrones de riqueza y diversidad de especies vegetales en un gradiente altitudinal en Guerrero, México. *Polibotánica*, (45), 101–13. 10.18387/polibotanica.45.8
- Axer, M., Schlicht, R., Kronenberg, R., & Wagner, S. (2021). The potential for future shifts in tree species distribution provided by dispersal and ecological niches: A comparison between beech and oak in Europe. *Sustainability*, 13(23), 13067. doi: <https://doi.org/10.3390/su132313067>
- Bañuelos-Revilla, J. E., Palacio-Núñez, J., Felipe Martínez-Montoya, J., Olmos-Oropeza, G., & Flores-Cano, J. A. (2019). Distribución potencial y abundancia de candelilla (*Euphorbia antisyphilitica*) en el norte de Zacatecas, México. *Madera y Bosques*, 25(1). <https://doi.org/10.21829/myb.2019.2511657>

los cuales se indican en el Cuadro 4. Los de mayor uso fueron el algoritmo de MaxEnt (72.8 %, n = 182), el modelo de Random Forests (8 %, n = 16) y Genetic Algorithm for Rule-Set Prediction o GARP (4.8 %, n = 12); en cambio, los menos utilizados fueron el modelo inglés UKMOHADGEM1 (0.4 %, n = 1), la evaluación espacial multicriterio de ILWIS V. 3.3 (0.4 %, n = 1) y el análisis de conglomerados (0.4 %, n = 1).

El algoritmo de MaxEnt (Phillips et al., 2006) es el modelado de nicho ecológico más empleado con múltiples propósitos en biogeografía, biología de la conservación y en ecología, probablemente porque este algoritmo simula las distribuciones geográficas potenciales de especies a través del aprendizaje automático y el principio de máxima entropía, logrando buenos resultados incluso cuando los datos sobre la distribución de una especie son escasos (Radosavljevic & Anderson 2014; Ramírez-Magil et al., 2020; Singh et al., 2020). Los resultados de este modelo pueden proporcionar información sobre cómo las especies están limitadas por las condiciones ambientales, el impacto de los cambios ambientales en su distribución y la determinación de áreas potenciales para la reintroducción de especies (Rong et al., 2019; Zhao et al., 2020, 2020a, 2021). Además, este algoritmo ha sido utilizado ampliamente para la resolución de problemas que involucran especies en peligro de extinción en un sentido estricto, especies invasoras, hábitat adecuado para especies raras y destrucción de bosques (Deb et al., 2020; Zhu et al., 2020).

## Conclusiones

Esta revisión brinda una perspectiva sobre las tendencias globales en los estudios de modelos de distribución de especies durante el periodo 1999-2022, los cuales generalmente se realizan en países con gran diversidad de especies vasculares como China y México, siendo España un caso particular que no cumple esta regla. Las especies más estudiadas pertenecen a las familias Pinaceae y Fagaceae. MaxEnt es el algoritmo de mayor uso en los modelos, por su fácil aplicación y rapidez para la obtención de resultados, en los cuales la precipitación pluvial y la temperatura ambiental son las variables más utilizadas. A pesar de las limitaciones, los estudios demuestran la utilidad del modelo de distribución de especies arbóreas, por tanto, debe considerarse una herramienta necesaria para la previsión de los impactos potenciales del cambio climático en la distribución de las especies. Cabe resaltar que el rendimiento del modelado dependerá de la técnica empleada, así como de su interpretación, la cual debe hacerse en función de la especie y su hábitat.

## Agradecimientos

Agradecemos al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por la beca otorgada a D. M.

- Barrantes-Leiva, R. M., & Cerdas-Salas, A. (2015). Distribución espacial de las especies de mangle y su asociación con los tipos de sedimentos del sustrato, en el sector estuarino del Humedal Nacional Terraba-Sierpe, Costa Rica. *Revista de Biología Tropical*, 63(S1), 47–60. <https://doi.org/10.15517/rbt.v63i1.23094>
- Başkent, E. Z. (2021). Assessment and valuation of key ecosystem services provided by two forest ecosystems in Turkey. *Journal of Environmental Management*, 285, 112135. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2021.112135>
- Becerra-López, J., Romero-Méndez, U., Ramírez-Bautista, A., Jesús, & Becerra-López, S. (2016). Revisión de las técnicas para el modelado de la distribución de las especies. *Revista Biológico Agropecuaria de Tuxpan*, 5(1), 1514–1525. <https://doi.org/10.47808/revistabioagro.v4i1.47>
- Borthakur, S., Baruah, P. S., Deka, K., Das, Sarma, B., Adhikari, D., & Tanti, B. (2018). Habitat distribution modelling for improving conservation status of *Brucea mollis* Wall. ex Kurz. an endangered potential medicinal plant of Northeast India. *Journal for Nature Conservation*, 43, 104–110. <https://doi.org/10.1016/j.jnc.2018.02.010>
- Chaves-Barrantes, N. F., & Gutiérrez-Soto, M. V. (2017). Respuestas al estrés por calor en los cultivos. II. Tolerancia y tratamiento agronómico 1. *Agronomía Mesoamericana*, 28(1), 255–271. <https://doi.org/10.15517/am.v28i1.21904>
- Chen, Y., Li, Y., & Mao, L. (2022). Combining the effects of global warming, land use change and dispersal limitations to predict the future distributions of East Asian Cerris Oaks (*Quercus* Section *Cerris*, Fagaceae) in China. *Forests*, 13(3), 367. <https://doi.org/10.3390/f13030367>
- Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO). (2022). Colección de pinos del noreste de México. [http://www.conabio.gob.mx/remib/cgi-bin/remib\\_checklist.cgi?nombres=46;lengua=es-MX](http://www.conabio.gob.mx/remib/cgi-bin/remib_checklist.cgi?nombres=46;lengua=es-MX)
- Cruz-Cárdenas, G., López-Mata, L., Silva J. T., Bernal-Santana, N., Estrada-Godoy, F., & López-Sandoval, J. A. (2016). Modelado de la distribución potencial de especies de Pinaceae bajo escenarios de cambio climático en Michoacán. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*, 22(2), 135–48. <https://doi.org/10.5154/r.rchscfa.2015.06.027>
- Deb, J. C., Forbes, G., & Maclean, D. A. (2020). Modelling the spatial distribution of selected North American woodland mammals under future climate scenarios. *Mammal Review*, 50(4), 440–452. <https://doi.org/10.1111/mam.12210>
- Díaz, V., Sosa-Ramírez, J., & Pérez-Salicrup, D. R. (2012). Distribución y abundancia de las especies arbóreas y arbustivas en la Sierra Fría, Aguascalientes, México. *Polibotánica*, 34, 99–126. [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S140527682012000200004&script=sci\\_abstract](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S140527682012000200004&script=sci_abstract)
- Pozo-Gómez (CVU: 777549), para sus estudios del Doctorado en Ciencias en Biodiversidad y Conservación de Ecosistemas Tropicales, así como a los revisores que contribuyeron a mejorar la calidad del manuscrito.
- Fin de la versión en español*
- 
- García-Valdés, R., & Morales-Castilla, I. (2016). Efectos del cambio climático en los ecosistemas forestales: Integrando inventarios y modelos. *Ecosistemas*, 25(3), 51–59. <https://doi.org/10.7818/ECOS.1227>
- Gómez-Tolosa, M., Rivera-Velázquez, G., Rioja-Paradela, T. M., Mendoza-Cuenca, L. F., Tejada-Cruz, C., & López, S. (2021). The use of Odonata species for environmental assessment: A meta-analysis for the Neotropical region. *Environmental Science and Pollution Research*, 28(2), 1381–1396. <https://doi.org/10.1007/s11356-020-11137-9>
- González-Cubas, R., Treviño-Garza, E. J., Aguirre-Calderón, O. A., & Foroughbakhch-Pournavab, R. (2020). Distribución potencial de *Abies vejarii* (Pinaceae) y su relación con factores ambientales, topográficos y antropogénicos en el noreste de México. *Acta Botánica Mexicana*, (127). <https://doi.org/10.21829/abm127.2020.1607>
- Guisan, A., Tingley, R., Baumgartner, J. B., Naujokaitis-Lewis, Sutcliffe, P. R., Tulloch, A. I. T., Regan, T. J., Brotons, L., McDonald-Madden, E., Mantyka-Pringle, C., Martin, T. G., Rhodes, J. R., Maggini, R., Setterfield, S. A., Elith, J., Schwartz, M. W., Wintle, B. A., Broennimann, O., Austin, M., Ferrier, S., Kearney, M. R., Possingham, H. P., & Buckley, Y. M. (2013). Predicting species distributions for conservation decisions. *Ecology Letters*, 16(12), 1424–1435. <https://doi.org/10.1111/ele.12189>
- Gutiérrez, E., & Trejo, I. (2014). Efecto del cambio climático en la distribución potencial de cinco especies arbóreas de bosque templado en México. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 85(1), 179–188. <https://doi.org/10.7550/rmb.37737>
- Leal-Nares, Ó., Mendoza, M. E., Pérez-Salicrup, D., Geneletti, D., López-Granados, E., & Carranza, E. (2012). Distribución potencial del *Pinus martinicensis*: Un modelo espacial basado en conocimiento ecológico y análisis multicriterio. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 83(4), Article 4. <https://doi.org/10.7550/rmb.27199>
- Li, G. Q., Du, S., & Wen, Z. M. (2016). Mapping the climatic suitable habitat of oriental arborvitae (*Platycladus orientalis*) for introduction and cultivation at a global scale. *Scientific Reports*, 6, 30009. <https://doi.org/10.1038/srep30009>
- Lira-Noriega, A., Soberón, J., & Miller, C. P. (2013). Process-based and correlative modeling of desert mistletoe distribution: A multiscale approach. *Ecosphere*, 4(8), 1–23. <https://doi.org/10.1890/ES13-00155.1>
- López-Sandoval, J. A., López-Mata, L., Cruz-Cárdenas, G., Vibrans, H., Vargas, O., & Martínez, M. (2015).



- Modelado de los factores ambientales que determinan la distribución de especies sinantrópicas de *Physalis*. *Botanical Sciences*, 93(4), 755–764. <https://doi.org/10.17129/botsci.192>
- Maciel-Mata, C. A., Manríquez-Morán, N., Octavio-Aguilar, P., & Sánchez-Rojas, G. (2015). El área de distribución de las especies: Revisión del concepto. *Acta Universitaria*, 25(2), 03–19. <https://doi.org/10.15174/au.2015.690>
- Manzanilla-Quijada, G. E., León, F. D., Treviño-Garza, E. J., Aguirre-Calderón, O. A., Yerena-Yamallel, J. I., & Manzanilla-Quiñones, U. (2020). Current and future potential distribution and identification of suitable areas for the conservation of *Cedrela odorata* L. in the Yucatan Peninsula. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*, 26(3), 391–408. <https://doi.org/10.5154/r.rchscfa.2019.10.075>
- Marchese, C. (2015). Biodiversity hotspots: A shortcut for a more complicated concept. *Global Ecology and Conservation*, 3, 297–309. <https://doi.org/10.1016/j.gecco.2014.12.008>
- Martínez-Méndez, N., Aguirre-Planter, E., Eguiarte, L. E., & Jaramillo-Correa, J. P. (2016). Modelado de nicho ecológico de las especies del género *Abies* (Pinaceae) en México: Algunas implicaciones taxonómicas y para la conservación. *Botanical Sciences*, 94(1), 5–24. <https://doi.org/10.17129/botsci.508>
- Martínez-Meyer, E., Sosa-Escalante, J. E., & Álvarez, A. (2014). El estudio de la biodiversidad en México: ¿una ruta con dirección. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 85, S1–S9. <https://doi.org/10.7550/rmb.43248>
- Mokany, K., Ferrier, S., Harwood, T. D., Ware, C., Marco, M. D., Grantham, H. S., Venter, O., Hoskins, A. J., & Watson, J. E. (2020). Reconciling global priorities for conserving biodiversity habitat. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 117(18), 9906–9911. <https://doi.org/10.1073/pnas.1918373117>
- Ocampo-González, P., López-Wilchis, R., Espinoza-Medinilla, E. E., & Rioja-Paradela, T. M. (2020). A review of the breeding biology of *Chiroptera*. *Mammal Review*, 51(3), 338–352. <https://doi.org/10.1111/mam.12236>
- Palma-Ordaz, S., & Delgadillo-Rodríguez, J. (2014). Distribución potencial de ocho especies exóticas de carácter invasor en el estado de Baja California, México. *Botanical Sciences*, 92(4), 587–597. <https://doi.org/https://doi.org/10.17129/botsci.135>
- Phillips, S. J., Anderson, R. P., & Schapire, R. E. (2006). Maximum entropy modeling of species geographic distributions. *Ecological Modelling*, 190, 231–259. <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2005.03.026>
- Quipuscoa Silvestre, V., Dillon, M. O., Treviño Zevallos, I., Balvin Aguilar, M., Mejía Rios, A., Ramos Aranibar, D., Durand Vera, K., & Montesinos Tubée, D. (2019). Impacto de los cambios climáticos y uso de suelo, en la distribución de las especies de géneros endémicos de Asteraceae de Arequipa. *Arnaldoa*, 26(1), 71–96. <http://www.scielo.org.pe/pdf/arnal/v26n1/a05v26n1.pdf>
- Radosavljevic, A., & Anderson, R. P. (2014). Making better Maxent models of species distributions: complexity, overfitting and evaluation. *Journal of Biogeography*, 41, 629–643. <https://doi.org/10.1111/jbi.12227>
- Ramírez-Magil, G., Botello, F., Navarro-Martínez, A., Ramírez-Magil, G., Botello, F., & Navarro-Martínez, A. (2020). Idoneidad de hábitat para *Swietenia macrophylla* en escenarios de cambio climático en México. *Madera y Bosques*, 26(3), Article 3. <https://doi.org/10.21829/myb.2020.2631954>
- Rong, Z., Chuanyan Z., Junjie, L., Yunfei, G., Fei, Z., Guo, Z., Yahua, M., & Ling, W. (2019). Modeling the effect of climate change on the potential distribution of *Qinghai spruce* (*Picea crassifolia* Kom.) in Qilian Mountains. *Forests*, 10, 62. <https://doi.org/10.3390/f10010062>
- Rosas-Chavoya, M., Granados-Sánchez, D., Granados-Victorino, R. L., & Esparza-Govea, S. (2016). Clasificación y ordenación de bosques de pino piñonero del estado de Querétaro. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 7(33), 52–73. <http://doi.org/10.29298/rmcf.v7i33.90>
- Saupe, E. E., Barve, V., Myers, C. E., Soberón, J., Barve, N., Hensz, C. M., Peterson, A. T., Owens, H. L., & Lira-Noriega, A. (2012). Variation in niche and distribution model performance: The need for a priori assessment of key causal factors. *Ecological Modelling*, 237–238, 11–22. <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2012.04.001>
- Singh, P. B., Mainali, K., Jiang, Z., Thapa, A., Subedi, N., Awan, M. N., Ilyas, O., Luitel, H., Zhou, Z., & Hu, H. (2020). Projected distribution and climate refugia of endangered Kashmir musk deer *Moschus cupreus* in greater Himalaya, South Asia. *Scientific Reports*, 10, 1511. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-58111-6>
- Soilhi, Z., Sayari, N., Benalouache, N., & Mekki, M. (2022). Predicting current and future distributions of *Mentha pulegium* L. in Tunisia under climate change conditions, using the MaxEnt model. *Ecological Informatics*, 68, 101533. <https://doi.org/10.1016/j.ecoinf.2021.101533>
- System of Environmental Economic Accounting (SEEA). (2022, July). *Ecosystem accounting*. <https://seea.un.org/ecosystem-accounting>.
- Villaseñor, J. L. (2018). Diversidad y distribución de la familia Asteraceae en México. *Botanical Sciences*, 96(2), 332–58. <https://doi.org/10.17129/botsci.1872>
- Vroh, B. T. A., Adou-Yao, C. Y., Kpangui, K. B., Gone Bi, Z. B., Kouame, D., Koffi, K. J., & Gueusan, K. E. N. (2016). Comparing suitable habitat models to predict rare and endemic plant species distributions: What are the limits of the niche of *Cola lorougnonis* (Malvaceae) in Cote d'Ivoire? *Environment and Natural Resources Research*, 6(3), 1. <https://doi.org/10.5539/enrr.v6n3p1>
- Ye, X., Zhang, M., Yang, Q., Ye, L., Liu, Y., Zhang, G., Chen, S., Lai, W., Wen, G., Zheng, S., Ruan, S., Zhang, T., & Liu, B. (2022). Prediction of suitable distribution of a critically endangered plant *Glyptostrobus pensilis*. *Forests*, 13(2), 257. <https://doi.org/10.3390/f13020257>
- Zhao, H., Zhang, H., & Xu, C. (2020). Study on *Taiwania cryptomerioides* under climate change: MaxEnt modeling for predicting the potential geographical



- distribution. *Global Ecology and Conservation*, 24, e01313. <https://doi.org/10.1016/j.gecco.2020.e01313>
- Zhao, R., Chu, X., He, Q., Tang, Y., Song, M., & Zhu, Z. (2020a) Modeling current and future potential geographical distribution of *Carpinus tientaiensis*, a critically endangered species from China. *Forests*, 11(7), 774. <https://doi.org/10.3390/f11070774>
- Zhao, Y., Xiangwen, D., Wenhua, X., Liang, C., & Shuai, O. (2021). Predicting potential suitable habitats of chinese fir under current and future climatic scenarios based on Maxent model. *Ecological Informatics*, 64, 101393. <https://doi.org/10.1016/j.ecoinf.2021.101393>
- Zhu, B., Wang, B., Zou, B., Xu, Y., & Ran, J. (2020). Assessment of habitat suitability of a high-mountain galliform species, buff-throated partridge (*Tetraophasis szechenyii*). *Global Ecology and Conservation*, 24, e01230. <https://doi.org/10.1016/j.gecco.2020.e01230>